



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AERONÁUTICOS



# Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

Javier García-Heras Carretero

Año 2009







# Agradecimientos

Me veo en la obligación de realizar este apartado dentro del proyecto, ya que aunque no forme parte del mismo, siento que sin la ayuda y el apoyo de mucha gente, nada de esto habría sido posible.

En primer lugar quería agradecerle enormemente a D.Victor Gordo Arias, por darme la oportunidad de realizar este proyecto, por todo el tiempo que ha dedicado conmigo, por su comprensión en momentos difíciles y por todos los consejos aportados al mismo.

También me gustaría darle las gracias a D.Francisco Javier Sáez Nieto por abrirme las puertas de su departamento y facilitarme así enormemente el poder compaginar las actividades de este ajetreado año.

Además quisiera agradecer a D. José Félix Alonso Alarcón, toda la ayuda prestada, sin la cual, no hubiera podido completar el proyecto.

Así mismo no debo olvidarme de todos los compañeros de INECO que han hecho que esta experiencia haya sido la mejor de mi corta carrera profesional, darles las gracias además por sus consejos y por todas las horas que han dedicado a echarme una mano cuando más lo necesitaba, muchas gracias: Raquel, Antonio, Teresa, Juan Pablo, Carolina...

Quería dedicar públicamente este proyecto y todo el esfuerzo puesto en él, a mis padres, sin los cuales no sólo no estaría aquí, sino que no sería nada. Ellos me han enseñado que hasta las batallas más duras se pueden ganar, que lo único que hay que hacer es luchar y dejarte la piel para que todo se haga realidad. Gracias de verdad por no desistir nunca, por apoyarme y estar a mi lado en cada cosa que hago y por hacerme sentir alguien muy especial. Quería aprovechar esta oportunidad para pedirlos perdón, por no haber tenido el tiempo suficiente para acompañaros en cada minuto de nuestra dura lucha.

Además es obligado acordarme de mis hermanos que siempre han confiado en mí y me han dado las fuerzas y el optimismo cuando más lo necesitaba, por tirar de mí y no dejar que me relaje ni un segundo, por cuidarme y apoyarme cada día de mi vida. Además quisiera agradecer a Ivan su paciencia conmigo en todo este tiempo, tus explicaciones hicieron mi camino más claro.

Gracias Lucía por ser mi sueño más real, por compartir tu vida con la mía, por diluir todas las dificultades y no ya sólo en la realización de este proyecto, sino desde que te conocí, gracias por escucharme y por gastar tu tiempo ayudándome en esta odisea.

Gracias a mis abuelos, a los que no estáis conmigo, porque no he dejado ni un segundo de sentir que me acompañáis en cada paso que doy, y sólo espero que estuviérais orgullosos de la persona en que me he convertido, y a mi abuela Felisa por darme en bandeja de oro su vida entera, ójala supiera como compensar todo el amor que me das, siento que con sólo darte las gracias no es suficiente.

Me gustaría agradecerle al resto de mi familia, ya que han puesto su granito de arena en forjar a la persona que soy hoy día, gracias por abrirme las puertas de vuestras casas y hacerme sentir como uno más.

Finalmente agradecerle a todas las personas que han confiado en mi, a todos mis amigos que han aguantado a pesar de mis ausencias, a pesar de todo el tiempo que he dedicado a cumplir mi sueño, comprendiéndolo y animándome en ello.

Quisiera terminar con una frase: *“a veces los sueños se hacen realidad”*.



# ÍNDICE GENERAL

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>1.1 OBJETIVO: .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>1.2 ALCANCE: .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>1.3 ESTUDIO TEÓRICO:.....</b>   | <b>2</b>   |
| 1.3.1 DME: .....   | 3          |
| 1.3.1.1 Descripción del sistema .....  | 3          |
| 1.3.1.2 Especificaciones y funcionamiento del sistema .....  | 6          |
| 1.3.2 SISTEMAS DE MULTILATERACIÓN: .....   | 12         |
| 1.3.2.1 Descripción del sistema .....  | 19         |
| 1.3.2.2 Especificaciones y principio de funcionamiento .....   | 20         |
| <b>CAPÍTULO 2: DISEÑO .....</b>  | <b>33</b>  |
| <b>2.1 INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>33</b>  |
| 2.1.1 BANDA-L.....   | 33         |
| 2.1.1.1 Sistemas aeronáuticos operando en la Banda-L .....   | 33         |
| 2.1.1.2 Fuentes de interferencia .....   | 34         |
| 2.1.1.3 Tipos de interferencias detectadas [6], [7], [9], [15] .....   | 35         |
| 2.1.1.4 Modelos de propagación .....   | 36         |
| 2.1.1.4.1 Espacio libre .....  | 36         |
| 2.1.1.4.2 Modelo de propagación estándar aeronáutico (ASPM) .....  | 36         |
| 2.1.1.4.3 Modelo de propagación en espacio libre modificado por el efecto suelo .....  | 37         |
| <b>2.2 ESTUDIO TEÓRICO .....</b>   | <b>39</b>  |
| 2.2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO.....   | 39         |
| 2.2.1.1 Cálculos de potencia.....  | 39         |
| a. Modelo señal transmitida por el DME/N en tierra .....   | 39         |
| b. Modelo de la señal transmitida por el sistema MLT en tierra .....   | 41         |
| c. Potencia de las respuestas del equipo de tierra del sistema DME en los receptores del sistema de multilateración .....            | 42         |
| d. Potencia de las interrogaciones del sistema de multilateración en el equipo de tierra DME.....                                    | 53         |
| 2.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO.....   | 57         |
| 2.2.2.1 Modelo receptor sistema DME de tierra .....  | 57         |
| 2.2.2.1.1 Simulación con Ruido .....   | 69         |
| 2.2.2.1.2 Simulación con Ruido, con interferencia de onda continua (CW) de -91dBm y a la frecuencia del canal del DME (1041MHz)..... | 74         |
| 2.2.2.1.3 Simulación con Ruido e Interferencia de MLT sin analizar el efecto de sus espurios ( $f_{MLT}=1030MHz$ ).....              | 78         |
| 2.2.2.1.4 Simulación con Ruido, onda continua (CW) e Interferencia de MLT analizando sus espurios ( $f_{MLT}=f_{DME}$ ).....         | 85         |
| 2.2.2.1.5 Resultados simulaciones.....   | 91         |
| a) Simulaciones con Ruido e Interferencia de Onda Continua .....   | 92         |
| b) Simulaciones con Ruido e Interferencia de MLT .....   | 94         |
| c) Simulaciones con Ruido, interferencia de Onda Continua e interferencia de MLT.....  | 96         |
| 2.2.2.2 Modelo receptor sistema MLT de tierra .....  | 105        |
| 2.2.2.2.1 Simulación con ruido, interferencia de onda continua e interferencia del DME. ....   | 106        |
| 2.2.2.2.2 Simulación sin interferencias .....  | 113        |
| <b>CAPÍTULO 3: CONCLUSIÓN .....</b>  | <b>119</b> |
| <b>CAPÍTULO 4: ACRÓNIMOS .....</b>   | <b>123</b> |



|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>127</b> |
| <b>ANEXO 1: TABLA RESUMEN DME/N.....</b>   | <b>131</b> |
| <b>ANEXO 2: PROGRAMACIÓN MATLAB.....</b>   | <b>137</b> |
| <b>1. MODELO SEÑAL TRANSMITIDA DME/N .....</b>   | <b>137</b> |
| <b>2. MODELO FILTRO BUTTERWORTH.....</b>   | <b>137</b> |
| <b>3. FILTRO CHEBYSHEV .....</b>   | <b>138</b> |
| <b>4. FILTRO DIGITAL FIR .....</b>   | <b>138</b> |
| <b>5. RECEPTOR DME.....</b>  | <b>139</b> |
| <b>5.1 Entradas al programa .....</b>  | <b>139</b> |
| <b>5.2 Envoltente del espectro de frecuencias de la respuesta del sistema de MLT (ver Ilustración 14).....</b> | <b>140</b> |
| <b>5.3 Cálculo potencia MLT disponible en el receptor DME (ver 2.2.1.1-apartado d).....</b>                    | <b>140</b> |
| <b>5.4 Señales de entrada al receptor DME.....</b>   | <b>141</b> |
| <b>5.5 Señales tras la multiplicación con la frecuencia del oscilador local .....</b>                          | <b>144</b> |
| <b>5.6 Filtro paso bajo .....</b>  | <b>144</b> |
| <b>5.7 Amplificador logarítmico .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>5.8 Detector de pico .....</b>  | <b>146</b> |
| <b>5.9 Análisis ancho de pulsos y presentación de resultados .....</b>   | <b>148</b> |
| <b>6. RECEPTOR MLT .....</b>   | <b>150</b> |
| <b>6.1 Entradas al programa .....</b>  | <b>150</b> |
| <b>6.2 Envoltente del espectro de frecuencias del DME/N Terminal/en Ruta.....</b>                              | <b>151</b> |
| <b>6.3 Cálculo de Potencia disponible en el receptor del sistema de MLT .....</b>                              | <b>152</b> |
| <b>6.4 Señales de entrada al receptor MLT .....</b>  | <b>153</b> |
| <b>6.5 Señales tras la multiplicación con la frecuencia del oscilador local .....</b>                          | <b>155</b> |
| <b>6.6 Filtro paso bajo .....</b>  | <b>156</b> |
| <b>6.7 Amplificador logarítmico .....</b>  | <b>156</b> |





## **LISTA DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1: Ejemplo de diagrama vertical [7] .....  | 4  |
| Ilustración 2: Diagrama funcional del DME y características de las señales de<br>interrogación y respuesta [1].....  | 6  |
| Ilustración 3: Envolvente del impulso equipo DME [6] .....   | 7  |
| Ilustración 4: Distribución de frecuencias del DME [1] .....   | 8  |
| Ilustración 5: Envolvente del espectro de frecuencias del DME [7].....   | 10 |
| Ilustración 6: Potencia efectiva radiada nominal de un DME [6] .....   | 11 |
| Ilustración 7: Equipo de tierra Sistema de Multilateración Modo S para vigilancia en<br>superficie a) Palma de Mallorca y b) Asturias 128[21], [22].....         | 13 |
| Ilustración 8: Sistema de Multilateración [23].....  | 19 |
| Ilustración 9: a) Escenario 1: Una sola antena omnidireccional. b) Escenario 2: Cuatro<br>antenas direccionales a 90°. [17].....                                 | 21 |
| Ilustración 10: a) Escenario 3: Cuatro antenas Omnidireccionales. b) Escenario 4: Una<br>antena direccional a 45°. [17] .....                                    | 22 |
| Ilustración 11: Secuencia de impulsos de interrogación en intermodo [12] .....   | 24 |
| Ilustración 12: Secuencia de impulsos de interrogación en Modo S [12] .....  | 24 |
| Ilustración 13: Definición de las formas de onda, intervalos y puntos de referencia para<br>sensibilidad y potencia del radar secundario de vigilancia [12]..... | 25 |
| Ilustración 14: Límites del espectro requeridos para el transmisor del interrogador [12]<br>.....  | 26 |
| Ilustración 15: Bandas laterales en una interrogación Modo S [3] .....   | 26 |
| Ilustración 16: Bandas laterales en una interrogación Modo S después del filtrado [3]....  | 27 |
| Ilustración 17: Diagrama de radiación de un Beech B-99: a) Plano horizontal. b) Ala-ala. c)<br>Morro-Cola. Ruedas y flaps recogidos. [3] .....                   | 28 |
| Ilustración 18: Límites del espectro requeridos para el transmisor del interrogador [12]<br>.....  | 28 |
| Ilustración 19: Respuesta en Modo S [12].....  | 29 |
| Ilustración 20: Modelo de propagación de tierra plana .....  | 38 |
| Ilustración 21: Módulo de $S_{DME}$ con $P_t=100W$ del DME/N como entrada de la antena del<br>transpondedor del DME .....  | 41 |
| Ilustración 22: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=100W$ , $f=1024MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....                                 | 45 |
| Ilustración 23: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=100W$ , $f=1151MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....                                 | 45 |
| Ilustración 24: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=100W$ , $f=1084MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....                                 | 46 |
| Ilustración 25: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=1000W$ , $f=1024MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....                                | 46 |
| Ilustración 26: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=1000W$ , $f=1151MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....                                | 47 |



|   |    |
|---|----|
| Ilustración 27: Potencia disponible en el receptor de MLT, con $P_t=1000W$ , $f=1084MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....   | 47 |
| Ilustración 28: Filtro Butterworth receptor MLT .....   | 49 |
| Ilustración 29: Filtro Chebyshev receptor MLT (22MHz) .....   | 50 |
| Ilustración 30: Filtro digital FIR receptor MLT .....   | 50 |
| Ilustración 31: Potencia disponible en el receptor del DME, con $P_t=1200W$ , $f=1030MHz$ ,<br>$h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$ .....  | 55 |
| Ilustración 32: Modelo Receptor DME tierra .....  | 57 |
| Ilustración 33: Señal DME Recibida .....  | 58 |
| Ilustración 34: Señal Interferencia MLT .....   | 59 |
| Ilustración 35: Señal Interferencia CW .....  | 60 |
| Ilustración 36: Señal Resultante Entrada Receptor DME .....   | 60 |
| Ilustración 37: Espectro de frecuencias Señal de Entrada .....  | 61 |
| Ilustración 38: Señal Ruido Blanco Gaussiano .....  | 62 |
| Ilustración 39: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano .....   | 62 |
| Ilustración 40: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador<br>Local .....                             | 63 |
| Ilustración 41: Espectro de Frecuencias Entrada Filtro Receptor DME .....   | 64 |
| Ilustración 42: Filtro Paso Bajo Receptor DME .....   | 65 |
| Ilustración 43: Salida Filtro Receptor DME .....  | 65 |
| Ilustración 44: Espectro de Frecuencias Salida Filtro Receptor DME .....  | 66 |
| Ilustración 45: Salida Amplificador Logarítmico .....   | 66 |
| Ilustración 46: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico .....  | 68 |
| Ilustración 47: Matlab <i>Command Window</i> Ejemplo simulación .....   | 68 |
| Ilustración 48: <i>Command Window</i> Entrada Datos .....   | 69 |
| Ilustración 49: Espectro de frecuencias Señal entrada al receptor (Simulación con Ruido)<br>.....                                   | 69 |
| Ilustración 50: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano (Simulación con Ruido)  | 70 |
| Ilustración 51: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador<br>Local (Simulación con Ruido) .....      | 70 |
| Ilustración 52: Espectro de frecuencias Señal previa al filtrado (Simulación con Ruido) .   | 71 |
| Ilustración 53: Salida Filtro (Simulación con Ruido) .....  | 72 |
| Ilustración 54: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido) .....  | 72 |
| Ilustración 55: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido) .....  | 73 |
| Ilustración 56: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido)   | 73 |
| Ilustración 57: Matlab <i>Command Window</i> Simulación Con Ruido .....   | 74 |
| Ilustración 58: Introducción Datos (Simulación con Ruido y CW) .....  | 74 |
| Ilustración 59: Señal de interferencia de Onda Continua .....   | 75 |
| Ilustración 60: Señal Entrada al Receptor (Simulación con Ruido y CW) .....   | 75 |
| Ilustración 61: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador<br>Local (Simulación con Ruido y CW) ..... | 76 |
| Ilustración 62: Salida Filtro (Simulación con Ruido y CW) .....   | 76 |
| Ilustración 63: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y CW) .....   | 77 |



|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 64: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y CW).....  | 77  |
| Ilustración 65: Matlab Command Window Simulación Con Ruido y CW.....   | 78  |
| Ilustración 66: Introducción Datos (Simulación con Ruido y MLT sin espurios) .....   | 78  |
| Ilustración 67: Interferencia de MLT (Simulación con Ruido y MLT sin espurios) .....   | 79  |
| Ilustración 68: Señal Entrada al Receptor (Simulación con Ruido y MLT sin espurios) ....   | 80  |
| Ilustración 69: Espectro de Frecuencias (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....  | 80  |
| Ilustración 70: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....                                  | 81  |
| Ilustración 71: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) ..... | 81  |
| Ilustración 72: Espectro de frecuencias Señal previa al filtrado (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....                               | 82  |
| Ilustración 73: Salida Filtro (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....  | 83  |
| Ilustración 74: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....  | 83  |
| Ilustración 75: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....  | 84  |
| Ilustración 76: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios) .....                                 | 84  |
| Ilustración 77: Matlab Command Window Simulación Con Ruido y MLT sin Espurios ....   | 85  |
| Ilustración 78: Introducción Datos (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....  | 86  |
| Ilustración 79: Señal interferencia de MLT .....   | 86  |
| Ilustración 80: Señal de entrada al Receptor .....   | 87  |
| Ilustración 81: Señal de entrada al receptor sumada con el Ruido (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....  | 87  |
| Ilustración 82: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....          | 88  |
| Ilustración 83: Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....   | 88  |
| Ilustración 84: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....   | 89  |
| Ilustración 85: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y MLT) .....  | 89  |
| Ilustración 86: Matlab Command Window Simulación Con Ruido, CW y MLT .....   | 91  |
| Ilustración 87: Receptor de Tierra del sistema de Multilateración.....   | 106 |
| Ilustración 88: Introducción Datos (Simulación con Ruido, CW y DME) .....  | 107 |
| Ilustración 89: Señal Recibida de MLT, Repuesta Corta.....   | 108 |
| Ilustración 90: Interferencia DME Recibida.....  | 108 |
| Ilustración 91: Interferencia de CW Recibida .....   | 109 |
| Ilustración 92: Señal de Entrada al Receptor .....   | 109 |
| Ilustración 93: Espectro de Frecuencias Señal de Entrada.....  | 110 |
| Ilustración 94: Interferencia de Ruido Recibida .....  | 110 |
| Ilustración 95: Señal Entrada Sumando el Ruido (Simulación con Ruido, CW y DME) ....   | 111 |
| Ilustración 96: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido, CW y DME).....           | 111 |



|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 97: Espectro de Frecuencias Señal Previa al Filtrado (Simulación con Ruido, CW y DME)..... | 112 |
| Ilustración 98: Señal Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y DME) .....                             | 112 |
| Ilustración 99: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y DME) .....           | 113 |
| Ilustración 100: Señal de Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y DME) .....       | 113 |
| Ilustración 101: Introducción Datos (Simulación sin Interferencias) .....                              | 114 |
| Ilustración 102: Señal Salida Filtro (Simulación sin Interferencias) .....                             | 114 |
| Ilustración 103: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación sin Interferencias) .               | 115 |
| Ilustración 104: Señal de Salida Amplificador Logarítmico (Simulación sin Interferencias) .....        | 115 |



## **LISTA DE TABLAS**

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Estaciones DME/N Modo X España [5] .....  | 1   |
| Tabla 2: Estaciones DME/N Modo Y España [5] .....  | 2   |
| Tabla 3: Separación de impulsos y retardos, señales DME [6] .....  | 6   |
| Tabla 4: Errores límite [7] .....  | 11  |
| Tabla 5: Contribución de la multitrayectoria al error del equipo de tierra [7] .....                           | 12  |
| Tabla 6: Tipos de transmisión posibles para los sistemas de multilateración [9] .....                          | 18  |
| Tabla 7: Velocidades máximas de interrogación según los diferentes escenarios [17] .....                       | 22  |
| Tabla 8: Formas de los impulsos. Interrogaciones en Modo S y en intermodo [12] .....                           | 23  |
| Tabla 9: Resumen valores Potencia disponible en el receptor MLT .....  | 47  |
| Tabla 10: Distancias entre antenas de tierra DME- MLT para evitar las interferencias.....                      | 52  |
| Tabla 11: Distancias entre antenas de tierra DME- MLT para evitar las interferencias.....                      | 56  |
| Tabla 12: Simulaciones con Ruido, CW y $f_{DME}=1041\text{MHz}$ .....  | 92  |
| Tabla 13: Simulación con Ruido y Espurios MLT con $P_6$ corto y campo compensado por efecto suelo .....        | 94  |
| Tabla 14: Simulación con Ruido, CW $f=1040\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1041\text{MHz}$ ..... | 97  |
| Tabla 15: Simulación con Ruido, CW $f=1042\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1041\text{MHz}$ ..... | 97  |
| Tabla 16: Simulación con Ruido, CW $f=1052\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1051\text{MHz}$ ..... | 98  |
| Tabla 17: Simulación con Ruido, CW $f=1062\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1061\text{MHz}$ ..... | 99  |
| Tabla 18: Simulación con Ruido, CW $f=1041\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1041\text{MHz}$ ..... | 101 |
| Tabla 19: Simulación con Ruido, CW $f=1052\text{MHz}$ , interferencias de MLT y $f_{DME}=1052\text{MHz}$ ..... | 103 |
| Tabla 20: Resumen características DME/N. [8] .....   | 131 |





## **LISTA DE ECUACIONES**

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Evaluación distancia DME .....  | 5  |
| Ecuación 2: Densidad de potencia de una antena isotrópica.....  | 10 |
| Ecuación 3: Pérdida básica de propagación de espacio libre [18] .....   | 36 |
| Ecuación 4: Pérdida de transmisión en el espacio libre [4] .....  | 36 |
| Ecuación 5: Distancia del horizonte radio [18].....   | 37 |
| Ecuación 6: Pérdida de transmisión entre el Transmisor y receptor en función de la<br>distancia (dB) [18] .....   | 37 |
| Ecuación 7: Campo eléctrico con $ R  \approx 1$ y $\beta \approx 1$ .....   | 38 |
| Ecuación 8: Coeficientes de reflexión .....   | 38 |
| Ecuación 9: Pérdida básica de propagación con campo corregido .....   | 38 |
| Ecuación 10: Modelo propuesto señal transmitida del DME/N como entrada a la antena<br>del equipo de tierra del DME.....   | 39 |
| Ecuación 11: Estimación del parámetro $\lambda$ por el método de máxima verosimilitud .....   | 41 |
| Ecuación 12: Modelo propuesto señales de las estaciones MLT en tierra.....  | 42 |
| Ecuación 13: Modelo propuesto señal recibida del DME/N como entrada a la antena de<br>recepción de MLT.....   | 42 |
| Ecuación 14: Fórmula de Friis.....  | 44 |
| Ecuación 15: Potencia disponible en el receptor considerando campo corregido .....  | 44 |
| Ecuación 16: Función de transferencia filtro Butterworth.....   | 49 |
| Ecuación 17: Función de transferencia filtro Chebyshev.....   | 49 |
| Ecuación 18: Modelo propuesto de la señal recibida por el DME/N desde la estación<br>interrogadora de tierra del sistema de multilateración a la salida de la antena del<br>DME/N ..... | 53 |
| Ecuación 19: Fórmula de Friis.....  | 54 |
| Ecuación 20: Producto de dos cosenos.....   | 63 |
| Ecuación 21: Desarrollo teórico de las portadoras después del multiplicador.....  | 64 |
| Ecuación 22: Desarrollo Matemático Espectro de Frecuencias (Simulación con Ruido y<br>MLT sin Espurios) .....   | 82 |











# Capítulo 1:

## GENERALIDADES

### 1.1 Objetivo:

Se han detectado problemas entre sistemas que operan en la banda L de frecuencia (960-1215MHz) y más concretamente dentro de ésta, en sistemas que operan en bandas contiguas de frecuencia. Dichos sistemas son el DME (960-1215MHz) y los sistemas de multilateración (1030MHz y 1090MHz).

Por lo tanto, se pretenderá evaluar las interferencias potenciales entre los sistemas de multilateración y el equipo de tierra del DME, realizando, si fuera necesario recomendaciones en el uso de los canales del DME, en la operación de sistemas de multilateración y en lo relativo a la ubicación de dichos sistemas, para asegurar un correcto funcionamiento de ambos.

### 1.2 Alcance:

Durante el presente proyecto se analizarán las interferencias producidas entre los sistemas de multilateración y el equipo de tierra del DME como se ha mencionado anteriormente, aunque en el mismo sólo será estudiado un tipo de éstos. Teniendo en cuenta que de los diversos tipos de DME existentes son: DME/N Modo Y, DME/N Modo X y DME/P.

Actualmente el número de DME/P y DME/N en modo Y instalados son muy reducidos (según [5] el 83% de los DME instalados son DME/N Modo X, el 17% restante son DME/N Modo Y, no existiendo ningún DME/P, véase Tabla 1, Tabla 2) por lo que carece de interés su análisis y se estudiará solamente el **DME/N modo X**.

Tabla 1: Estaciones DME/N Modo X España [5]

|    | Estación DME | Canal   |    | Estación DME      | Canal   |
|----|--------------|---------|----|-------------------|---------|
| 1  | ALBACETE     | CH 105X | 33 | LANZAROTE         | CH 84X  |
| 2  | ALICANTE     | CH 85X  | 34 | LEÓN              | CH 57X  |
| 3  | ALMERIA      | CH 88X  | 35 | MAELLA            | CH 58X  |
| 4  | ASTURIAS     | CH 71X  | 36 | MÁLAGA            | CH 57X  |
| 5  | BADAJOS      | CH 115X | 37 | MARTÍN            | CH 73X  |
| 6  | BAJUR        | CH 59X  | 38 | MENORCA           | CH 73X  |
| 7  | BAILÉN       | CH 109X | 39 | MORÓN             | CH 102X |
| 8  | BARAHONA     | CH 75X  | 40 | MURCIA            | CH 77X  |
| 9  | BARCELONA    | CH 114X | 41 | PALMA DE MALLORCA | CH 80X  |
| 10 | BILBAO       | CH 106X | 42 | PALMA DE MALLORCA | CH 124X |
| 11 | BURGOS       | CH 51X  | 43 | PAMPLONA          | CH 70X  |
| 12 | CÁCERES      | CH 89X  | 44 | POLLENSA          | CH 111X |
| 13 | CALAMOCHA    | CH 107X | 45 | REUS              | CH 89X  |

|    |                    |         |    |                      |         |
|----|--------------------|---------|----|----------------------|---------|
| 14 | CAPDEPERA          | CH 76X  | 46 | SABADELL             | CH 57X  |
| 15 | CASTEJÓN           | CH 103X | 47 | SALAMANCA            | CH 59X  |
| 16 | CIUDAD REAL        | CH90X   | 48 | SAN SEBASTIÁN        | CH 126X |
| 17 | COLMENAR VIEJO     | CH 120X | 49 | SANTANDER            | CH 100X |
| 18 | CÓRDOBA            | CH 71X  | 50 | SANTIAGO             | CH 111X |
| 19 | DOMINGO            | CH 73X  | 51 | SEVILLA              | CH 84X  |
| 20 | EL HIERRO          | CH 79X  | 52 | SOMOSIERRA           | CH 101X |
| 21 | EL PRAT            | CH 90X  | 53 | TENERIFE NORTE       | CH 124X |
| 22 | FUERTEVENTURA      | CH 88X  | 54 | TENERIFE SUR         | CH 111X |
| 23 | GERONA             | CH 88 X | 55 | TOLEDO               | CH 79X  |
| 24 | GRAN CANARIA       | CH 76X  | 56 | TORREJÓN             | CH 98X  |
| 25 | GRAN CANARIA       | CH 97X  | 57 | VALENCIA             | CH 108X |
| 26 | GRANADA            | CH 81X  | 58 | VEJER DE LA FRONTERA | CH 125X |
| 27 | HINOJOSA DEL DUQUE | CH 94X  | 59 | VIGO                 | CH 83X  |
| 28 | IBIZA              | CH 125X | 60 | VILLATOBAS           | CH 74X  |
| 29 | JEREZ              | CH 77X  | 61 | VITORIA              | CH 113X |
| 30 | LA CORUÑA          | CH 98X  | 62 | YESTE                | CH 99X  |
| 31 | LA PALMA           | CH 71X  | 63 | ZAMORA               | CH 118X |
| 32 | LANZAROTE          | CH 99X  | 64 | ZARAGOZA             | CH 77X  |

Tabla 2: Estaciones DME/N Modo Y España [5]

|    | Estación DME               | Canal   |
|----|----------------------------|---------|
| 1  | ALICANTE                   | CH93Y   |
| 2  | BARAJAS                    | CH111Y  |
| 3  | CALELLA                    | CH100Y  |
| 4  | CALLES                     | CH122Y  |
| 5  | HUESCA                     | CH 92Y  |
| 6  | LOGROÑO                    | CH 101Y |
| 7  | MÁLAGA                     | CH 82Y  |
| 8  | NAVAS DEL REY              | CH 96Y  |
| 9  | PERALES DE TAJUÑA          | CH 116Y |
| 10 | ROBLEDILLO                 | CH 86Y  |
| 11 | SAN SEBASTIÁN DE LOS REYES | CH 125Y |
| 12 | TABANERA DEL CERRATO       | CH 114Y |
| 13 | VILLAFRANCA                | CH 78Y  |

En lo referente a los sistemas de multilateración, el sistema más interesante para el estudio de la problemática del tema, es la **multilateración de superficie modo S**, y sobre todo haciendo hincapié en la multilateración activa, ya que en España no existe la multilateración de área ampliada y el modo S se emplea debido a que es el que mejor prestaciones ofrece.

### 1.3 Estudio teórico:

Primeramente se procederá a describir las características, así como el funcionamiento de los sistemas que son objeto de análisis en este proyecto (el DME y los Sistemas de Multilateración), con motivo de tener una visión del funcionamiento y características de los mismos para una mejor comprensión del tema que será objeto de estudio.



### 1.3.1 DME:

Es el encargado de proporcionar a la aeronave una indicación de la distancia oblicua existente entre el equipo de abordó y el equipo de tierra, en línea de vista, por desplazamiento en tiempo. Esta medida de distancia oblicua es el primer error a tener en cuenta, cuanto más cerca se encuentre de la estación la aeronave, este error será mayor.

Suele ir asociado a otros sistemas tales como VOR (proporcionan información de acimut y distancia  $[\rho$  y  $\theta$ ] a aquellas aeronaves que se encuentren dentro de su volumen de cobertura de ambos equipos), ILS (como sustituto de las radiobalizas [OM, MM e IM] situado junto con la GP) o MLS, que permiten a la aeronave determinar su posición en el espacio. Además se puede emplear para establecer la posición de referencia en el sistema INS y en la navegación de área. [1], [2].

El equipo de abordó transmite una serie de impulsos que son interpretados en función del tiempo que tarda en volver la respuesta de la unidad respondedora de tierra (que lo hará en otra frecuencia).

Las estaciones DME poseen un indicativo que consiste en dos o tres letras emitidas en código Morse con una frecuencia de 1350 Hz cada 37.5 ó cada 75 segundos.[2], [6].

Existen 3 tipos de DME [6]:

- El **DME/N** es el equipo radioeléctrico utilizado principalmente para servir las necesidades operacionales de la navegación en ruta o TMA, donde “N” identifica las características de espectro estrecho.
- El **DME/P** es un equipo cuyas características del espectro son similares a las del DME/N. Donde la “P” significa medición de distancia de precisión.
- El **DME/W** es el equipo radioeléctrico utilizado principalmente para servir las necesidades operacionales de la navegación en ruta o TMA, donde “W” identifica las características de espectro ancho.

#### 1.3.1.1 Descripción del sistema

Es un sistema que está compuesto por un interrogador (respondedor/receptor de UHF en la aeronave) y de un respondedor (respondedor/receptor en tierra).

El **equipo de tierra DME**, es el encargado de recibir las interrogaciones del equipo de abordó y de generar la respuesta mediante un retraso en el tiempo y además produciendo un adelanto o retraso en la frecuencia, según el valor de la frecuencia de interrogación. Este equipo está diseñado para responder a 100 aeronaves, en caso de existir más de 100 responde solamente a las 100 más cercanas, mientras que si hubiese menos aeronaves, para mantener el ciclo de trabajo emite unos pulsos aleatorios (pulsos squitter).

Está formado por las siguientes partes [1]:

- **Antena:** Formada por un conjunto de elementos radiantes del tipo dipolo. Utiliza polarización vertical, por lo tanto, ésta será perpendicular al terreno. Se

emplea un tipo especial de antenas llamadas de cosecante al cuadrado (COSEC<sup>2</sup>), cuyo diagrama de radiación tiene la particularidad de tener igual ganancia para una misma altura. Posee una ganancia con respecto a la antena isotrópica de 15dB en el caso de antena direccional y entre 9 y 12dB para omnidireccional.

En cuanto a la forma del DDR en el plano horizontal será circular para una antena omnidireccional y direccional con un ancho del lóbulo de 70° en una antena direccional, si nos referimos al plano vertical deberá tener un lóbulo cuyo ancho estará entre 6 y 9° donde el valor máximo estará a 3° por encima del plano horizontal en el caso de una antena omnidireccional y para una antena direccional el ancho del lóbulo será mayor de 10° y el máximo se ubicará a 4° por encima del plano horizontal. Un ejemplo de DDR vertical de la estación DME puede observarse en la Ilustración 1.

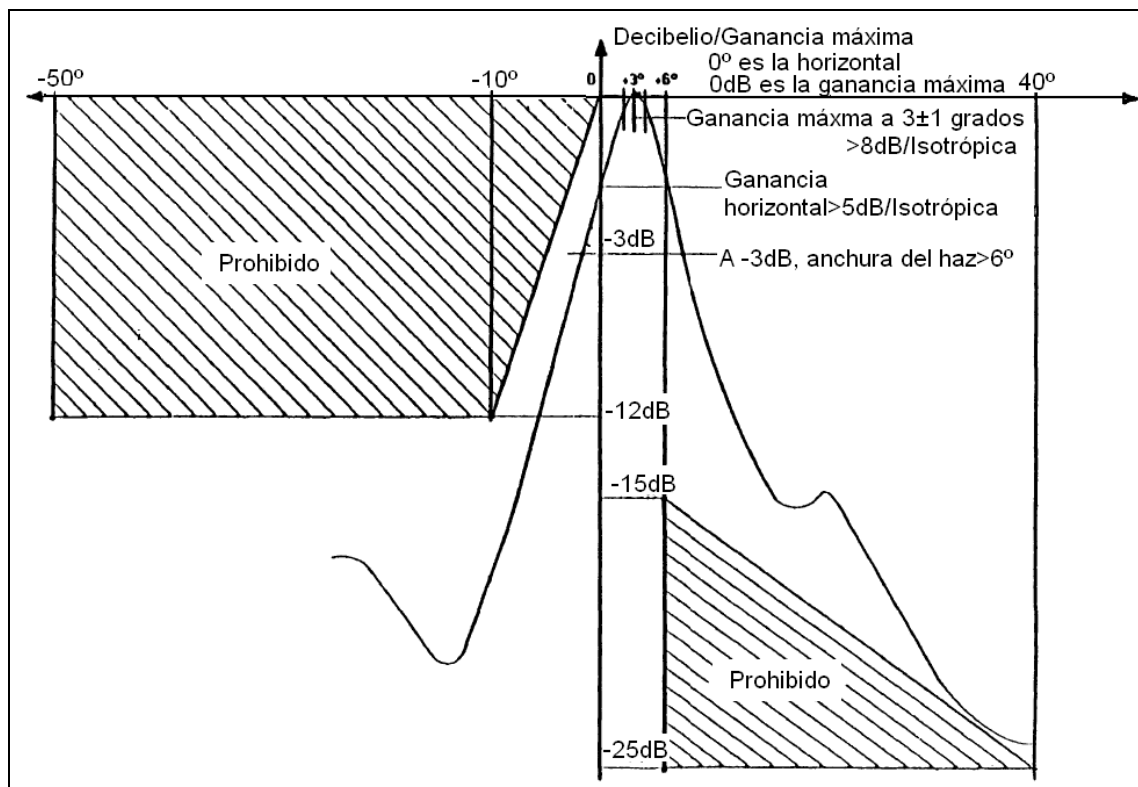


Ilustración 1: Ejemplo de diagrama vertical [7]

- **Circulador:** es un dispositivo basado en las propiedades conductoras de las ferritas. Tiene como misión aislar al receptor de las señales de respuesta generadas por la unidad transmisora.
- **Unidad de conmutación:** Selecciona la unidad transmisora o receptora según corresponda.
- **Unidad receptora:** capta la señal procedente de la aeronave (interrogación) y activa la unidad transmisora para generar la respuesta.



- **Unidad transmisora:** Genera las señales de respuesta a una interrogación efectuada por las aeronaves, además genera pulsos squitter (pulsos emitidos por el DME para evitar que disminuya la eficiencia).
- **Unidad supervisora:** Vigila que los parámetros de éste coincidan con las especificaciones técnicas del mismo.
- **Interrogador de prueba:** genera señales de interrogación a solicitud de la unidad supervisora.
- **Unidad de control local:** controla las operaciones de las diferentes unidades del equipo.
- **Subsistema de mantenimiento remoto:** el cuál posee numerosas funciones, entre ellas determinar los fallos que producen alarmas de integridad, enviar la información a la unidad de control local, registrar avisos de mantenimiento, etc.

El **equipo de abordaje DME** es el encargado, como se ha mencionado anteriormente, de generar una señal de interrogación, así mismo recibe la respuesta del equipo de tierra permitiéndole determinar la distancia a éste, mediante la medida del tiempo de llegada de la respuesta (Véase Ecuación 1). Está formado por las siguientes partes[1]:

- **Antena:** Formada por un dipolo, al igual que el equipo de tierra utiliza polarización vertical. Está ubicada en la parte inferior de la aeronave debido a que tiene que estar en línea de vista con la estación de tierra.
- **Línea de transmisión:** Es un cable coaxial que conecta la antena con el bloque de circuitos.
- **Unidad selectora:** Permite al piloto seleccionar el canal apropiado para conectar con un determinado equipo de tierra. Si la estación en tierra está formada por un VOR/DME sincronizado con VOR se asocia automáticamente el canal del DME. Lo mismo ocurrirá si la estación en tierra está formada por un ILS/DME. Esta operación es posible debido a la asociación de frecuencias de OACI.
- **Transmisor:** Genera la señales de interrogación.
- **Receptor:** Es el encargado de amplificar la señal, convertir la frecuencia y detectar los impulsos de las señales de respuesta recibidas.
- **Procesador:** Es el encargado de determinar la distancia entre la aeronave y la estación de tierra, transformando la separación de los pulsos, de tiempo a distancia.
- **Unidad de presentación:** Representa la información procedente del procesador, proporcionando el valor de la distancia a la estación de tierra.

$$\text{Distancia}_{\text{DME}} = \frac{(\text{Medida de tiempo} - \text{Retardo del sistema}) \cdot c}{2}$$

Ecuación 1: Evaluación distancia DME

Siendo:

- $c$  la velocidad de la onda.  $c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$  Siendo  $\epsilon_0$  la constante dieléctrica en el espacio libre [ $\epsilon_0 = (36\pi \cdot 10^9)^{-1}$  (F/m)] y  $\mu_0$  la permeabilidad magnética en el espacio libre [ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (h/m)].

### 1.3.1.2 Especificaciones y funcionamiento del sistema

El **principio de funcionamiento del DME** consiste en que el *equipo de abord* emite una señal de interrogación formada por un par de pulsos cuyo ancho tiene un valor nominal de  $3.5\mu s$ . Inicialmente dichas interrogaciones se realizan en modo búsqueda, es decir, emitiendo de forma aleatoria (el tiempo de repetición no es constante sino que oscila entorno a un valor medio de unos 120-150pps) entre 20 y 150pps. Dicha interrogación es captada por el *equipo de tierra* respondiendo ésta con la misma secuencia retrasando la señal un cierto tiempo (*Retraso sistemático*) dependiendo del modo utilizado, Modo X o Y, con una velocidad de 2700pps en ciclo útil constante. Dichos valores del retraso sistemático pueden observarse en la Tabla 3 que serán muy útiles para determinar la forma de la respuesta e interrogación. Y además se produce un aumento o descenso de la frecuencia en 63MHz según la frecuencia del canal de la interrogación como se ha mencionado anteriormente.

Tabla 3: Separación de impulsos y retardos, señales DME [6]

| Sufijo de canal | Modo de funcionamiento | Separación entre pares de impulsos ( $\mu s$ ) |           | Retardo ( $\mu s$ )           |                                |
|-----------------|------------------------|--|-----------|-------------------------------|--------------------------------|
|                 |                        | Interrogación                                  | Respuesta | Primer impulso. Temporización | Segundo impulso. Temporización |
| X               | DME/N                  | 12   | 12        | 50                            | 50                             |
|                 | DME/P IA M             | 12   | 12        | 50                            | -                              |
|                 | DME/P FA M             | 18   | 12        | 56                            | -                              |

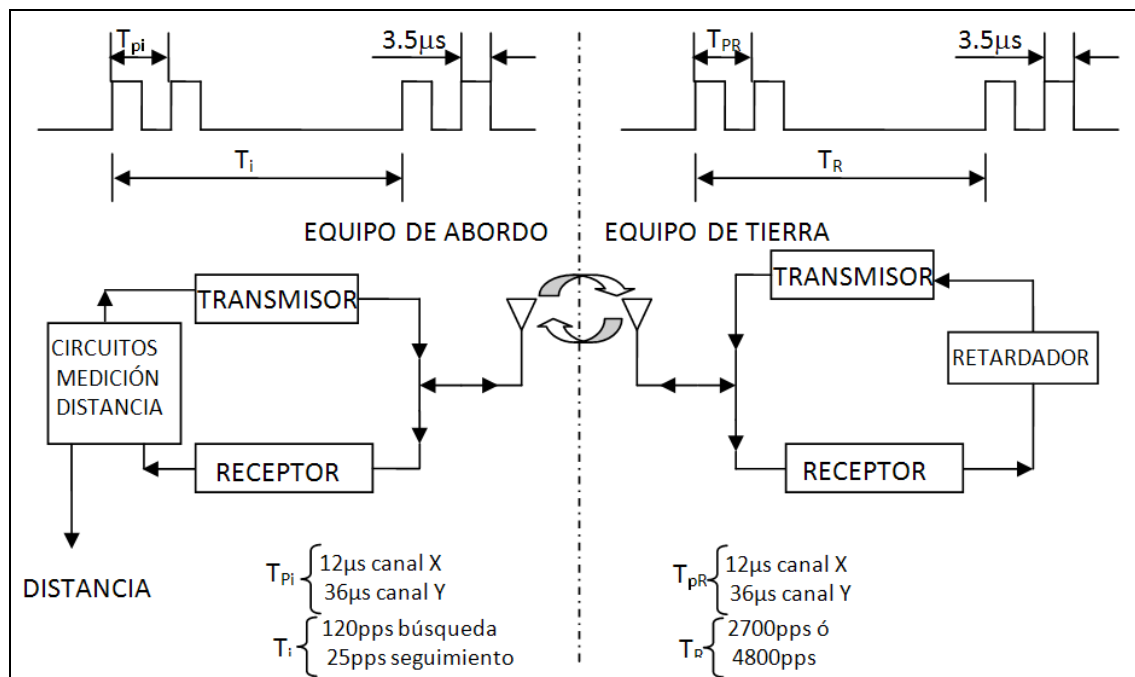


Ilustración 2: Diagrama funcional del DME y características de las señales de interrogación y respuesta [1]





El *equipo de abord* abre una ventana de  $20\mu\text{s}$  sincronizada con los pares de pulsos emitidos y que se desplaza a una velocidad de  $2\mu\text{s}$  por exploración, la cual permite captar los pulsos procedentes del equipo de abord. Una vez que el equipo de abord ha detectado un número de impulsos del equipo de tierra tales que supera el umbral establecido (12 impulsos para 4800pps y 7 impulsos para 2700pps) pasa a una fase de seguimiento en la que el número de par de pulsos emitidos es menor pasando a valores entre 15 y 30pps (el tiempo de repetición no es constante, se genera de forma aleatoria, oscila entre un valor medio de unos 25-30pps).

Para adquirir la información de distancia el equipo de abord mide el tiempo que ha tardado en llegar las respuestas y lo transforma a distancia teniendo en cuenta el retraso sistemático introducido por la estación de tierra (Véase Ecuación 1). Todo el proceso de funcionamiento del DME puede observarse esquemáticamente en la Ilustración 2.

Como ya se ha comentado, la señal está formada por un **par de pulsos** los cuales tendrán una *forma Gaussiana* ya que de esta manera se limita el ancho de banda utilizado por la señal, aunque lo ideal es que éstos fueran pulsos rectangulares ya que así se evitaría la ambigüedad de la medida del origen de tiempos pero su ancho de banda sería muy grande debido a que tendría la forma de  $\text{sinc}(x)$ . Las características que deben de tener dichos pulsos son las siguientes [7]:

- **Duración del pulso:** El tiempo entre el punto del lado de subida y bajada del pulso cuya amplitud es el 50% de la máxima, es de  $3.5\mu\text{s} \pm 0.5\mu\text{s}$  (Véase Ilustración 3 es el tiempo entre el punto b y f).
- **Tiempo de subida del pulso:** El tiempo que necesita para pasar del 10% al 90% de su amplitud máxima, no debe exceder de  $3\mu\text{s}$  y puede ser como mínimo  $0.8\mu\text{s}$ . (Véase Ilustración 3 es el tiempo entre el punto a y c).

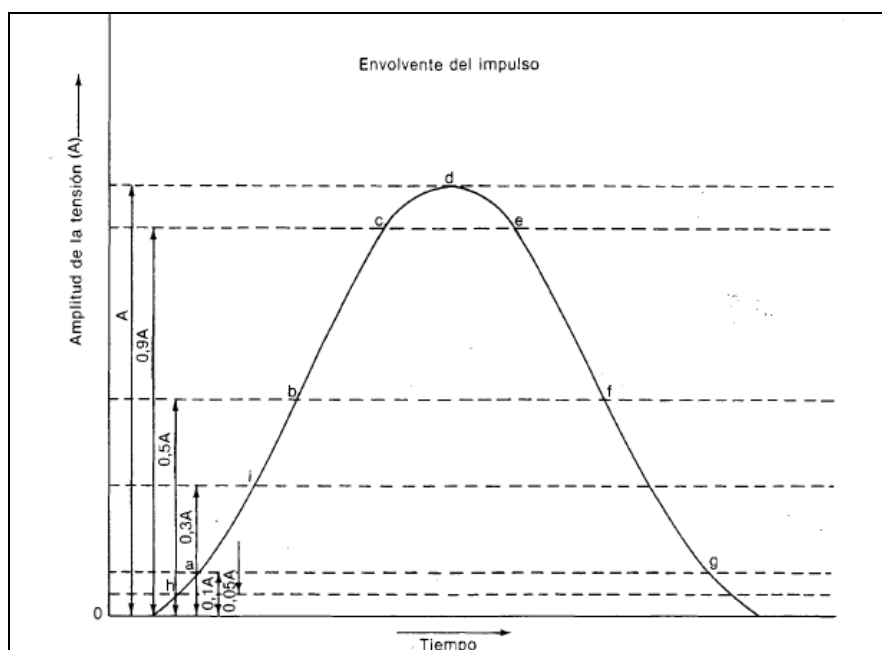


Ilustración 3: Envolvente del impulso equipo DME [6]

- **Tiempo de bajada del pulso:** El tiempo que necesita para pasar del 90% al 10% de su máxima amplitud, no debe exceder de  $3.5\mu s$ . (Véase Ilustración 3 es el tiempo entre el punto e y g).
- **El tiempo de referencia del pulso:** Debe ser considerado para la distancia entre pulsos y para la medida del tiempo de retraso en la parte delantera del pulso del punto medio del voltaje.
- **Valores nominales y tolerancias:** Cuando es necesario especificar requisitos de actuaciones se proporcionan dichos datos en términos de su valor nominal. En el límite permisivo de variación respecto a dicho valor nominal estarán incluido errores debido al ajuste técnico, los equipos de deriva y los cambios debido al entorno. Donde están dispuestos los términos medios del ajuste, es requerido que el parámetro sea ajustado inicialmente lo más próximo posible al valor nominal.

El espaciado entre pulsos para el DME/N modo X debe ser  $12\mu s \pm 0.1\mu s$ . Esto significa que el pulso debe ser seleccionado a  $12\mu s$  y es aceptado que durante su utilización en servicio, el valor real pueda estar entre  $11.9\mu s$  y  $12.1\mu s$ .

El DME trabaja con polarización vertical en la banda de **frecuencias** comprendida entre 960-1215MHz. Repartiéndose de la siguiente manera: el equipo de tierra utiliza una frecuencia comprendida entre 960-1215MHz y el equipo de la aeronave entre 1025-1150MHz.

El *equipo de abord*o como puede verse en la Ilustración 4 transmite a una frecuencia comprendida entre 1025-1087MHz y entre 1088-1150MHz, con una separación entre canales de 1MHz, por lo tanto se tiene hasta 126 canales disponibles.

Siguiendo la secuencia de funcionamiento del DME, el receptor del *equipo de tierra* capta la señal del equipo de abordo y la disminuye o la aumenta en 63MHz según se trate de los canales comprendidos entre 1025-1087 ó 1088-1150 respectivamente utilizando dichas frecuencias para emitir hacia el quipo de abordo, por lo tanto las frecuencias de transmisión del equipo de tierra estarán comprendidas entre 962-1024MHz y 1151-1213MHz.

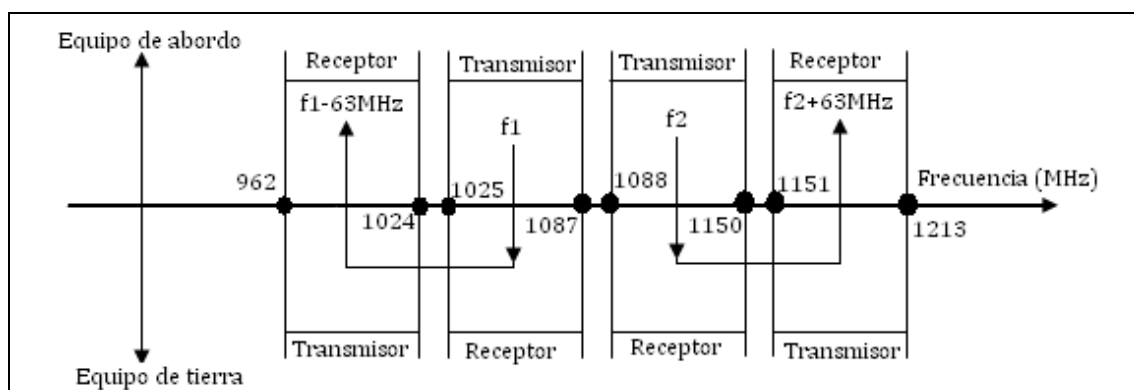


Ilustración 4: Distribución de frecuencias del DME [1]

La estabilidad de la frecuencia de operación tendrá un valor de  $\pm 100\text{KHz}$  de la frecuencia seleccionada. [6]



Dispone de 126 **canales** en el DME/N modo X y puede llegar a duplicarse con la utilización del DME/N modo Y. Disponen de una separación de 1MHz entre los mismos. El número, así como las características de cada uno de los canales pueden observarse en la tabla A de la referencia [6].

En cuanto a la **precisión**, en el caso de un DME/N, hasta una distancia de 370km (200NM) del equipo de tierra debe ser menor de  $\pm 460\text{m}$  (0.25NM) mas el 1.25% de la distancia media (excluyendo errores de lectura) y ésta debe mantenerse con una probabilidad del 95%.

El **alcance** será del orden de 200NM ya que trabaja en línea de vista, para ruta, o del orden de 60NM para área Terminal.

La especificación de la **velocidad máxima de transmisión** del *equipo de tierra* establece el nivel máximo de potencia media del transmisor. Se recomienda que ésta sea de 2700 pares de pulsos por segundo (ciclo útil constante del equipo de tierra), si se ha de prestar servicio a 100 aeronaves y superiores a 4000pps para alta capacidad (ciclo útil variable cuyo valor mínimo esta en 1350pps y cuyo valor máximo es 2700pps ó 4800pps).

Para determinar la capacidad de velocidad de transmisión real que debería existir en una instalación determinada, durante condiciones de tránsito punta, es necesario calcular el número máximo de interrogadores. [1],[6],[7]

Para calcular la carga de interrogación impuesta al respondedor, debería tenerse en cuenta lo siguiente [7]:

- a) El número de aeronaves que constituye la carga de tránsito punta.
- b) El número de interrogadores que cada aeronave utiliza.
- c) La distribución de los modos de funcionamiento de los interrogadores utilizados (por ejemplo: búsqueda, aproximación inicial, aproximación final, ensayo desde el suelo).
- d) La frecuencia adecuada de repetición de impulsos.

El 90% de la energía transmitida está contenida en un ancho de banda de 0.5MHz, centrada en la frecuencia nominal, el resto de la energía está igualmente distribuida a ambos lados de esa banda y disminuye suavemente con la frecuencia, según puede observarse en la Ilustración 5.

Entre los puntos del lado de subida y de bajada del pulso cuya amplitud es del 95% del máximo, la amplitud instantánea no debe caer por debajo del 95% de la máxima amplitud de voltaje. [6]

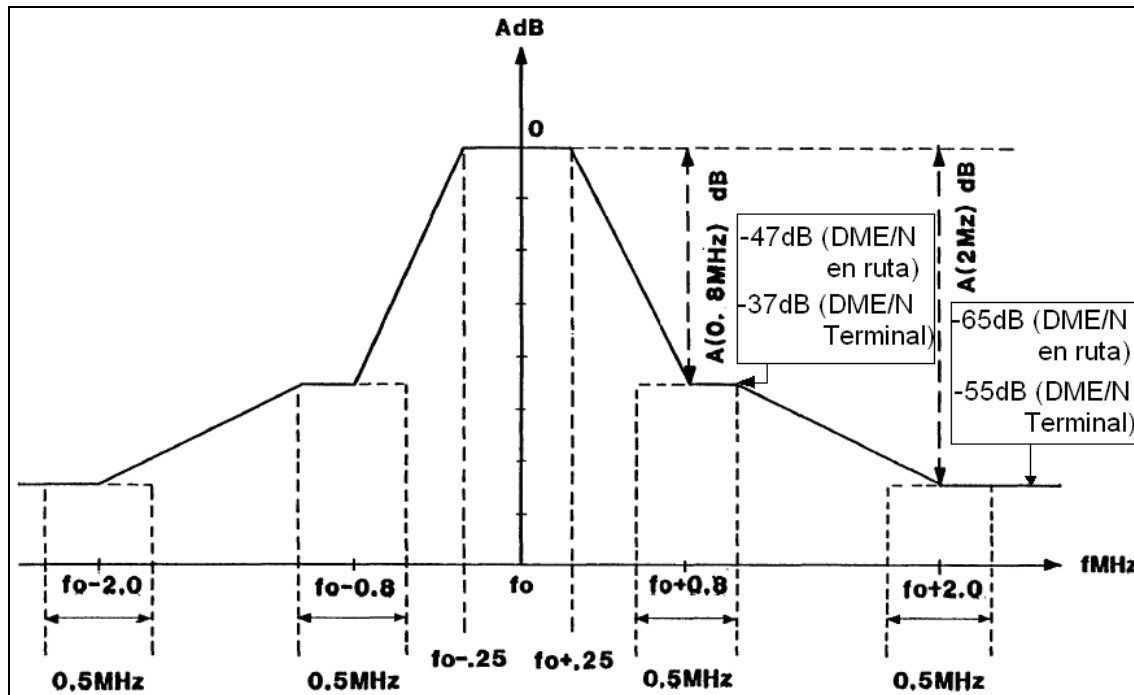


Ilustración 5: Envolvente del espectro de frecuencias del DME [7]

La **potencia isotropa radiada equivalente** de cresta no debería ser inferior a la que se requiere para asegurar una densidad máxima de potencia de impulso de cresta (valor medio) de aproximadamente  $-89\text{dBW/m}^2$  en todas las condiciones meteorológicas posibles y en cualquier punto dentro de la cobertura del sistema. [6],[7]

El valor de **densidad de potencia** se basa en los siguientes supuestos [6]:

- Sensibilidad del receptor de abordó  $-112\text{dBW}$ .
- Pérdida en la línea de transmisión de abordó  $+3\text{dB}$ .
- Pérdida del diagrama polar de abordó, con respecto a una antena isotrópica  $+4\text{dB}$ .
- Potencia necesaria en la antena  $-105\text{dBW}$ .

La potencia requerida de  $-105\text{dBW}$  se obtiene, a la frecuencia central de la banda, con una densidad de potencia de  $-83\text{dBW/m}^2$ .

En el caso de una *antena isotrópica*, la densidad de potencia puede calcularse del modo siguiente:

$$P_d = P_a - 10 \cdot \log \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Ecuación 2: Densidad de potencia de una antena isotrópica

Donde:

- $P_d$  = densidad de potencia en  $\text{dBW/m}^2$ .
- $P_a$  = potencia en el punto de recepción, en  $\text{dBW}$ .



## Capítulo 1: GENERALIDADES

- $\lambda$  = longitud de onda en metros.

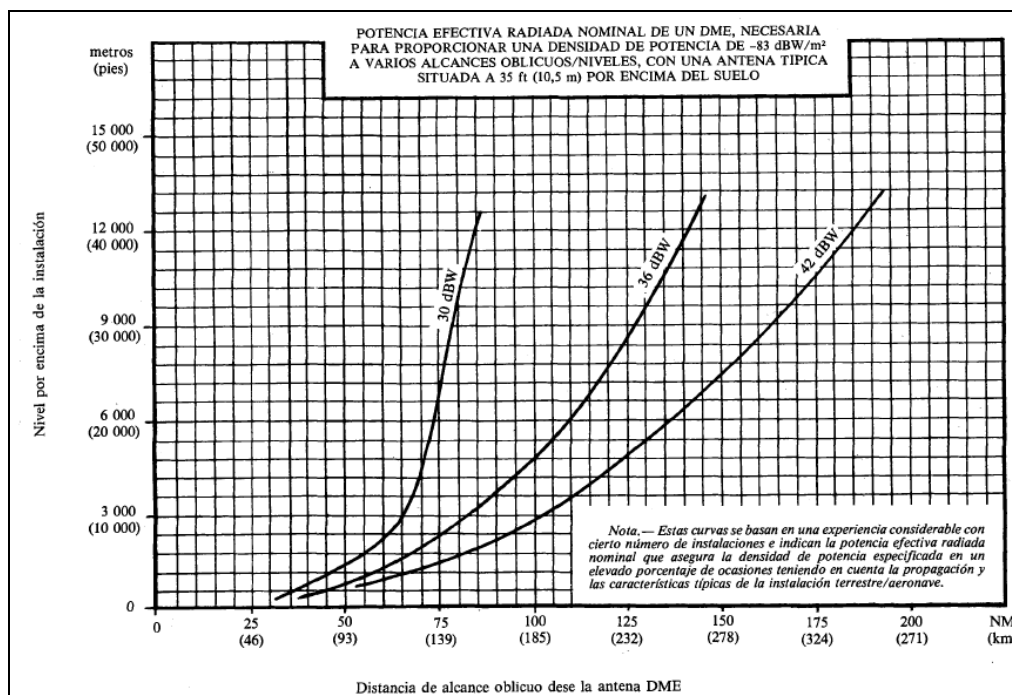


Ilustración 6: Potencia efectiva radiada nominal de un DME [6]

En la Ilustración 6 se dan los valores nominales de la ERP (Potencia Efectiva Radiada) necesaria para lograr una densidad de potencia de  $-107 \text{ dBW/m}^2$  para distintos alcances y alturas. Cuando se trate de cobertura en condiciones difíciles de terreno y emplazamiento, pudiera resultar necesario aumentar la PRA de manera apropiada. Por el contrario, en condiciones de emplazamiento favorables, puede lograrse la densidad de potencia especificada con una PRA inferior.

En lo referente al **error límite** para los diferentes tipos de *equipos de tierra* se especifican en la Tabla 4:

Tabla 4: Errores límite [7]

| Tipo           |              | Nivel de señal (dBm) |          | Bias (ns) | Ruido (ns) |
|----------------|--------------|----------------------|----------|-----------|------------|
| DME/N en ruta  | Área lejana  | Min. -91             | Máx. -81 | 1000      | 1000       |
|                | Área cercana | -81                  | -10      | 500       | 500        |
| DME/N Terminal |              | -81                  | -10      | 500       | 500        |

En una *antena isotrópica* el valor de  $-91 \text{ dBm}$  corresponde a  $-98.5 \text{ dBW/m}^2$  a  $1200 \text{ MHz}$  es aproximadamente igual a  $-103 \text{ dBW/m}^2$  asumiendo:

- Una ganancia de antena de 8dB.
- Unas pérdidas de la señal de 2dB.
- Unas pérdidas del cable de radiofrecuencia de 2dB.



Para los diferentes tipos de *equipos de tierra*, el **error máximo debido a la multitrayectoria**, el retraso de la multitrayectoria y la atenuación no debe ser mayor de los valores que se muestran en la Tabla 5

**Tabla 5: Contribución de la multitrayectoria al error del equipo de tierra [7]**

| Tipo de equipo | Multitrayectoria | Retraso multitrayectoria | Error máximo debido a la señal de la multitrayectoria |
|----------------|------------------|--------------------------|---|
| DME/N          | -6dB             | 0 a 4 $\mu$ s            | 1 $\mu$ s   |
|                | -6dB             | >4 $\mu$ s               | 0.2 $\mu$ s   |

Los equipos de abordaje tienen una **potencia de transmisión** que oscila entre los 50 y los 2000 W. [1], [2]

Analizando la **sensibilidad** del *equipo de tierra* en la que los pares de pulsos de la interrogación con la separación y la frecuencia nominales correctas, accionarán a dicho equipo de tierra si la densidad de potencia de cresta en la antena es por lo menos de  $-103\text{dBW/m}^2$ , dicha densidad mínima de potencia originan una respuesta del equipo con una eficiencia del *equipo de tierra* de al menos un 70%.

La sensibilidad del *receptor del equipo DME de tierra* debe ser: -91dBm en caso de tratarse de DME/N en ruta ó -81dBm para DME/N terminal, ambos con una eficiencia de al menos un 70%.

La sensibilidad del *receptor de la aeronave* será de -82dBm basado en la exactitud de la señal de entrada al receptor. [6], [7], [9]

La **eficacia** del sistema depende conjuntamente de la distorsión del enlace descendente, del tiempo muerto del equipo de tierra, de la distorsión del enlace ascendente y de la eficacia del procesador de señales del interrogador. Dado que estos componentes de la eficacia son estadísticamente independientes, pueden calcularse por separado y combinarse, después, para obtener la eficacia total del sistema. El efecto de un solo componente se define como el porcentaje de las respuestas válidas procesadas por el interrogador en respuesta a sus propias interrogaciones, suponiendo que ninguno de los otros componentes está presente. La eficacia total del sistema es el producto de los factores correspondientes a cada componente. [7]

### 1.3.2 SISTEMAS DE MULTILATERACIÓN:

Un sistema de multilateración consiste: en unas estaciones transmisoras encargadas de realizar las interrogaciones modo S a las aeronaves, en un número de antenas que reciben la señal de respuesta procedente de las aeronaves y una unidad de procesamiento central encargada de calcular la posición de la aeronave a través de la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de la señal a las diferentes antenas, como ejemplo puede observarse la Ilustración 7 en la que se aprecia un sistema de multilateración Modo S. [11], [21], [22]

La TDOA entre dos antenas corresponde, matemáticamente hablando, con un hiperboloide (en 3D) en el que el avión está situado. Cuando cuatro antenas detectan la señal de la aeronave, hace posible que se estime la posición de la aeronave como intersección de las hipérbolas.



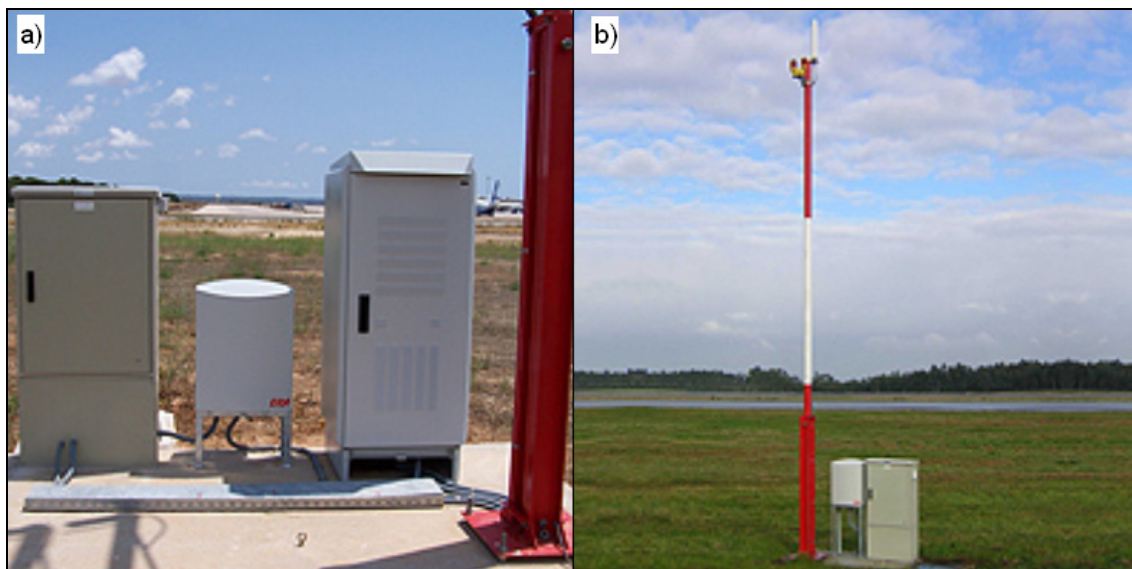


Ilustración 7: Equipo de tierra Sistema de Multilateración Modo S para vigilancia en superficie a) Palma de Mallorca y b) Asturias 128[21], [22]

Cuando están disponibles solamente tres antenas, la posición en 3D no se puede estimar directamente, pero si la altitud es conocida mediante otro método (por ejemplo desde Modo C o en un medio SMGCS) entonces sí se puede calcular la posición, es lo que se conoce como la solución 2D. Debe hacerse notar que la altitud barométrica (Modo C) puede conducir a una estimación menos exacta de la posición del objetivo, ya que la altitud barométrica puede diferir significativamente de la altitud geométrica. Con más de cuatro antenas, la información extra puede ser utilizada tanto para verificar la exactitud de las otras medidas como para calcular un medio de posición utilizando todas las medidas, las cuales deben tener en general un error menor. [11]

Puede haber más de una solución para los cálculos mediante la multilateración debido a que los hiperboloides pueden intersectar en dos puntos. Normalmente la solución correcta la podemos identificar fácilmente.

La geometría del sistema tiene un gran impacto en la exactitud que puede obtenerse: mientras que la aeronave está dentro del área encerrada por el grupo de antenas, el cálculo de la posición tendrá la exactitud más alta; fuera de esta área la exactitud se degradará rápidamente. [11]

Existen dos tipos de sistemas de multilateración: activos y pasivos. Los cuales se diferencian en que: un sistema pasivo está formado sólo por receptores mientras que un sistema activo tiene uno o más antenas transmisoras para interrogar, por ejemplo, un transpondedor de la aeronave del SSR. [11]

- La **multilateración pasiva** sólo detecta la señal desde la aeronave para evaluar su posición. La aeronave es excitada por el SSR o por el ACAS y responde a estas solicitudes, o produce emisiones espontáneas referidas a pulsos “squitter” (pulsos emitidos para evitar que el sistema disminuya la eficiencia).

Un sistema pasivo de multilateración no interroga al transpondedor de la aeronave, tiene dos ventajas desde el punto de vista de la utilización del



espectro. En primer lugar no es necesaria licencia de transmisión para la instalación y utilización del sistema. En segundo lugar no hay aumento en el número de interrogaciones de 1030MHz o respuestas de 1090MHz causadas por el sistema.

En general, un sistema pasivo de multilateración obtendrá aeronaves dentro del alcance del sistema si uno o más de los puntos especificados a continuación tienen lugar:

- La aeronave está equipada con un transpondedor Modo S.
- La aeronave está equipada con un transpondedor Modo A/C y dentro del alcance de uno o más interrogadores.
- La aeronave está equipada con un transpondedor Modo A/C y dentro del alcance de uno o más equipos ACAS de la aeronave.

Lo que significa que un sistema de multilateración pasivo está mejor adaptado a:

- Áreas ocupadas con un alto volumen de tráfico equipado con ACAS.
- Áreas que dispongan de una infraestructura de vigilancia MSSR.
- Áreas donde el uso de Modo S sea obligatorio.

En general, los sistemas de multilateración pasiva no se llevarán a cabo con Modo A/C, sólo para aviones a baja altitud ya que habrá menos interrogaciones Modo A/C para iluminar la aeronave.

Se debería hacer notar también que mientras que es técnicamente factible para seguir la pista de aeronaves basadas solamente en squitter Modo S; esto no produce los requisitos operacionales necesarios actualmente. En estos momentos el ID y la altitud son necesarios por los controladores. Utilizando un enlace de datos Modo S y una altitud geométrica será un gran cambio operacional.

- La **multilateración activa** incluye un plan de interrogación. Algunas de las interrogaciones de los sensores y de las respuestas de las aeronaves, permiten a la aeronave posicionarse mediante el sistema de multilateración.

Los sistemas de multilateración activa llevan a cabo las mismas funciones que los sistemas pasivos, y además ellos pueden solicitar sus propias respuestas desde la aeronave.

Un interrogador de multilateración es mucho más simple que un interrogador MSSR. No requiere antena rotatoria, en cambio se utiliza una antena omnidireccional o una antena sectorial. Además el nivel de potencia de la interrogación puede estar limitado para disponer de un alcance más corto que el que proporcionan los equipos de vigilancia MSSR.

El área terminal de vigilancia es un escenario que puede necesitar el uso de un sistema activo de multilateración. Las técnicas pasivas pueden ser utilizadas para adquirir el alrededor de la aeronave que está dentro del alcance del





MSSR. Un interrogador de corto alcance puede ser utilizado para adquirir bajos niveles de aeronaves en aproximación que caigan por debajo de la cobertura de los sistemas MSSR existentes.

En un entorno de largo alcance Modo S las aeronaves se pueden adquirir desde las transmisiones squitter. Para aplicaciones en área terminal, aviones en aproximación podrían beneficiarse de un mayor ratio de actualización, ya que mejora la precisión y la probabilidad de detección. Por lo tanto, se pueden interrogar aeronaves selectivamente con más frecuencia.

Los sistemas de multilateración activos pueden también utilizarse para adquirir datos específicos. Por ejemplo, un sistema de multilateración activo puede utilizarse en lugar de un MSSR para vigilancia modo S. El squitter Modo S puede utilizarse para adquirir a la aeronave pasivamente por direccionamiento Modo S y solicitudes de vigilancia pueden utilizarse para obtener datos adicionales tales como Modo A y la altitud.

En lo que respecta al área terminal, las aeronaves responden a las interrogaciones, llamada general a todos, realizada por la estación de tierra. Puede ser posible para situar la antena activa a fin de no iluminar las calles de rodaje y las plataformas. Las antenas direccionales tienen otro método de exclusión de las áreas seguras.

El uso del direccionamiento selectivo estará dirigido a reducir las respuestas no deseadas. Si se utiliza junto con una antena sectorizada será posible limitar las interrogaciones de enlace ascendente.

Los sistemas de multilateración pueden utilizarse también para calcular el alcance al objetivo de la misma forma que lo hacen los sistemas MSSR y ACAS. Esta información puede añadir la posición calculada utilizando TDOA aunque el beneficio que esto produce es normalmente mínimo ya que la posición TDOA es normalmente más exacta.

Como muchas aeronaves han sido equipadas con un número significativo de antenas para comunicaciones, navegación y vigilancia es interesante investigar cuál de esos tipos de transmisiones pueden ser utilizadas satisfactoriamente para permitir la identificación de la aeronave y la determinación de su actuación. Por lo tanto se pueden destacar los siguientes tipos de transmisiones existentes en una aeronave [9]:

- **Señales de vigilancia:**

- PSR: Solía ser el principal sistema de vigilancia para ATC pero esta actividad ha sido sustituida por sistemas radar más modernos. Se componen de un transmisor de alta potencia y un receptor. El haz del radar es reflejado por la aeronave (o cualquier otro objeto que se encuentre en la trayectoria del haz) y dicha recepción permite la determinación de la posición (distancia y azimuth). Debido a los inconvenientes que presenta este sistema (alta potencia de utilización y por lo tanto caro, sensibilidad de los ecos, escasez de identificadores de aeronave e información de altitud) ha sido sustituido por el SSR.



- SSR: Se compone de un equipo de tierra (el radar) y un equipo a bordo de la aeronave (transpondedor). La estación de tierra emite una señal (a 1030MHz) y el equipo de a bordo responde a dicha interrogación (a 1090MHz). Cuando el radar detecta la respuesta, puede determinar la posición (distancia y azimut) de la aeronave. Como parte del mensaje del transpondedor, la aeronave envía información de identificación (código Modo A) o información de altitud (código Modo C). Debido a que todas las aeronaves comerciales están equipadas con este sistema es un buen candidato para un sistema de multilateración.
- SSR Modo S: Es el nuevo tipo de radar de vigilancia el cual ofrece un número relevante de ventajas sobre el SSR convencional. Utiliza las mismas frecuencias que el SSR (1030MHz enlace ascendente, 1090MHz enlace descendente) y es compatible con el SSR. Las propiedades fundamentales de este sistema son: permite la interrogación selectiva de un transpondedor, utiliza 24 bits para la identificación de la aeronave, única para cada aeronave, y permite 25ft de resolución para la altitud (recuérdese que para el SSR convencional era de 100ft).
- Modo S squitter: Una aeronave equipada con un transpondedor Modo S emite una señal, llamada Adquisición Squitter, aproximadamente una por segundo. La adquisición squitter consiste en un Modo S llamada a todos cuya respuesta contiene los 24 bits de dirección de la aeronave. El elevado ratio de actualización hace de esto una técnica muy útil para sistemas de multilateración pasivos.
- Enlace de tecnologías ADS-B: Este sistema es muy apropiado para un sistema pasivo de multilateración. Existen tres tecnologías diferentes que están actualmente en desarrollo:
  - *Modo S squitter extendido*: Es aceptado para ser el primer enlace de datos global para los vuelos internacionales comerciales. Se hace uso del transpondedor Modo S para emitir periódicamente, con una frecuencia de 6Hz superior, los 24 bits de la dirección de la aeronave acompañados por otra información de estado de la aeronave o llamada selectiva.
  - *VDL Modo 4*: Fue desarrollado como un soporte de comunicación de enlace de datos, vigilancia y funciones de navegación. La aplicación inicial fue restringida a vigilancia como ADS-C y ADS-B, pero el último desarrollo de OACI han sido eliminadas todas las restricciones así que está disponible como un enlace de datos CNS. El sistema soporta radiodifusión y comunicaciones punto a punto de la manera tradicional aire-tierra así como aire-aire. Es un sistema que opera en banda estrecha en canales múltiples de 25kHz en la banda de VHF (108-137MHz). El acceso a los canales está sincronizado por UTC y basado en el esquema TDMA que permite todas las unidades de comunicación para seleccionar slots libres para transmisiones. Un número de protocolos están disponibles en soporte de varios modos de comunicación. Aunque un BDL modo 4 es menos restrictivo con respecto a la visibilidad línea de vista entre la aeronave y la estación de tierra que la tecnología SSR (debido a la baja frecuencia utilizada por VDL modo 4), otros efectos (propagación, curvatura de la tierra, climatología) puede afectar a la calidad de la señal.



- **UAT:** Es un sistema de radiodifusión operando en un canal de 1MHz en la banda L (960-1215MHz). Los EEUU están proponiendo utilizar los 978MHz, pero no está internacionalmente aceptada la disponibilidad de ese canal. El ancho de banda del sistema de 1MHz, sin embargo, parece permitir más exactitud en las medidas de la TDOA que por ejemplo para VDL modo 4, pero menos exactitud que los sistemas que operan a 1090MHz, los cuales tienen un ancho de banda de 6MHz.
- **Señales de navegación:** Por la valoración de posibles tipos de sistemas de multilateración sólo las tecnologías basadas en radionavegación son apropiadas. En este contexto existen dos métodos distintos de radionavegación, es decir, las técnicas pasivas de radionavegación en las que las aeronaves participan sólo como receptores de la información y las técnicas activas de radionavegación en el que las aeronaves participan como receptores y transmisores de la información. Las primeras no tienen interés desde el punto de vista de la multilateración, mientras que las técnicas activas de radiofrecuencia son interesantes los siguientes sistemas:
  - **Radio altímetro:** Es un sistema utilizado por la aeronave durante la fase de aproximación para determinar la altitud. El principio de funcionamiento es simple: son transmitidos unos pulsos en un haz estrecho en dirección vertical al terreno, cuya reflexión es recibida. La medida de tiempo de llegada del pulso determina la distancia aeronave-terreno. Esta técnica de guiado no es capaz de soportar técnicas de multilateración debido al hecho de que la señal no es transmitida de forma omnidireccional.
  - **DME:** Véase apartado 1.3.1. La única desventaja del DME para los sistemas de multilateración es el hecho de que el DME no proporciona información de identificación de la aeronave.
- **Señales de comunicación:**
  - **Radiogoniómetro VHF:** En el contexto de señales de comunicación VHF (Voz) comunicación entre piloto y ATC puede ser utilizada también como sistema de multilateración. La voz VHF del piloto es utilizada por el radiogoniómetro, el cual consiste en una antena direccional y un receptor de radio VHF, para determinar la dirección del transmisor. La distancia radiogoniómetro-aeronave no puede ser determinada con una única estación, son necesarias al menos dos. Estos sistemas parecen limitados para utilizarlos como sistemas de multilateración, principalmente debido a la limitación y a la disponibilidad limitada de la señal de VHF.
  - **ACARS:** Es un sistema digital de comunicación entre la aeronave y las estaciones de tierra. Hace uso de un número de canales VHF alrededor de 131 y 136MHz en modo modulación en amplitud con un bajo ancho de banda. Este bajo ancho de banda significa que la exactitud de la TDOA es probablemente para ser muy pobre haciendo esto inapropiado para vigilancia. Además, la comunicación entre la aeronave y estación de tierra ocurre más frecuentemente cerca de los aeropuertos; en otras partes del vuelo no hay probablemente la suficiente comunicación para realizar medidas como un sistema de multilateración.



- **VDL Modo 2:** Es un enlace de datos digital para compartir por ATC y AOC comunicaciones entre la estructura estandarizada ATN. Fue estandarizado por OACI en 1990 y es una evolución del sistema ACARS produciendo un aumento de capacidad. Igual que VDL Modo 4, VDL Modo 2 hace uso de 25KHz de señal VHF, lo cual significa que no es muy adecuado para la exactitud de las medidas de TDOA. Debido a que las comunicaciones entre la aeronave y las estaciones de tierra se producen más frecuentemente en las cercanías de los aeropuertos, igual que con el ACARS, el uso de este tipo de señal está más limitado.
- **Sistemas de transmisión de radiofrecuencia diverso de la aeronave:** Aparte de los sistemas relativos al CNS de la aeronave que utilizan activamente señales de radiofrecuencia, existe un sistema que no puede ser categorizado como uno de estos:
  - **Radar meteorológico de la aeronave:** Es utilizado por la aeronave para evitar áreas de fuerte turbulencia. Este sistema envía una potente señal de radiofrecuencia, del orden de 1kW, la cual en parte es dispersada por las gotas de la lluvia (nieve y granizo son menos efectivos dispersando la señal) y algunas de las radiaciones reflejadas son recibidas por la antena del radar meteorológico. La longitud de onda de la señal de radiofrecuencia es del orden de los 2cm. La señal disponible para futuras estaciones de multilateración son bajas debido a que el radar meteorológico se apaga cuando se dispone de buenas condiciones meteorológicas. Otra cuestión es que el radar meteorológico de la aeronave no es omnidireccional. El alcance de la señal (línea de vista) y el ratio de actualización (1Hz) es bueno. Por lo tanto el radar meteorológico debe considerarse inútil para las aplicaciones de los sistemas de multilateración principalmente debido a su baja disponibilidad de la señal para estaciones en tierra.

Por lo tanto se puede observar que la opción más razonable para el uso de los sistemas de multilateración es el SSR y particularmente el SSR con transpondedor Modo S debido a que da las mejores propiedades de disponibilidad de la señal y debido a que posee un enlace de datos de 24 bits. Queda justificado que en los apartados precedentes tan sólo se haga hincapié en el radar secundario Modo S.

**Tabla 6: Tipos de transmisión posibles para los sistemas de multilateración [9]**

|                                    | Identificación    | Disponibilidad de equipamiento | Propiedades de la señal |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|
| PSR                                | No                | Alta                           | Pobre                   |
| SSR                                | Modo 3/A          | Alta                           | Buena                   |
| SSR Modo S                         | Modo 3/A, 24 bits | Aumentando                     | Buena                   |
| Modo S Squitter                    | 24 bits           | Aumentando                     | Buena                   |
| Modo S Squitter Extendido          | 24 bits           | Aumentando                     | Buena                   |
| VDL Modo 4                         | 24 bits           | Regionalmente alta             | Pobre                   |
| UAT                                | 24 bits           | Regionalmente alta             | Media                   |
| Radio Altimetro                    | No                | Alta                           | Pobre                   |
| DME                                | No                | Alta                           | Media                   |
| Radiogoniómetro VHF                | No                | Alta                           | Pobre                   |
| ACARS                              | No                | Alta                           | Pobre                   |
| VDL Modo 2                         | No                | Aumentando                     | Pobre                   |
| Radar meteorológico de la aeronave | No                | Alta                           | Pobre                   |



Otra clasificación de los sistemas de multilateración se puede hacer atendiendo al campo de acción en el que actúan dichos sistemas:

- **SUMLAT:** Previsto para la vigilancia en los aeropuertos como parte de un A-SMGCS.
- **WAMLAT:** Utiliza las mismas técnicas para grandes áreas tales como aproximación ó en ruta.

### 1.3.2.1 Descripción del sistema

El sistema de multilateración Modo S aprovecha el principio de funcionamiento y el equipo de abordó del radar secundario, el cual es un sistema de comunicaciones y vigilancia independiente cooperativa (el blanco dispone de un transpondedor que responde al equipo de tierra), que utiliza la técnica común en el SSR existente, modificándose mediante la adición de las características de interrogación selectiva, lo cual produce una reducción del número de interrogaciones necesarias.

En el SSR en contra de lo que ocurría en el DME la función de interrogación la realiza el equipo de tierra y la respuesta el equipo de abordó.

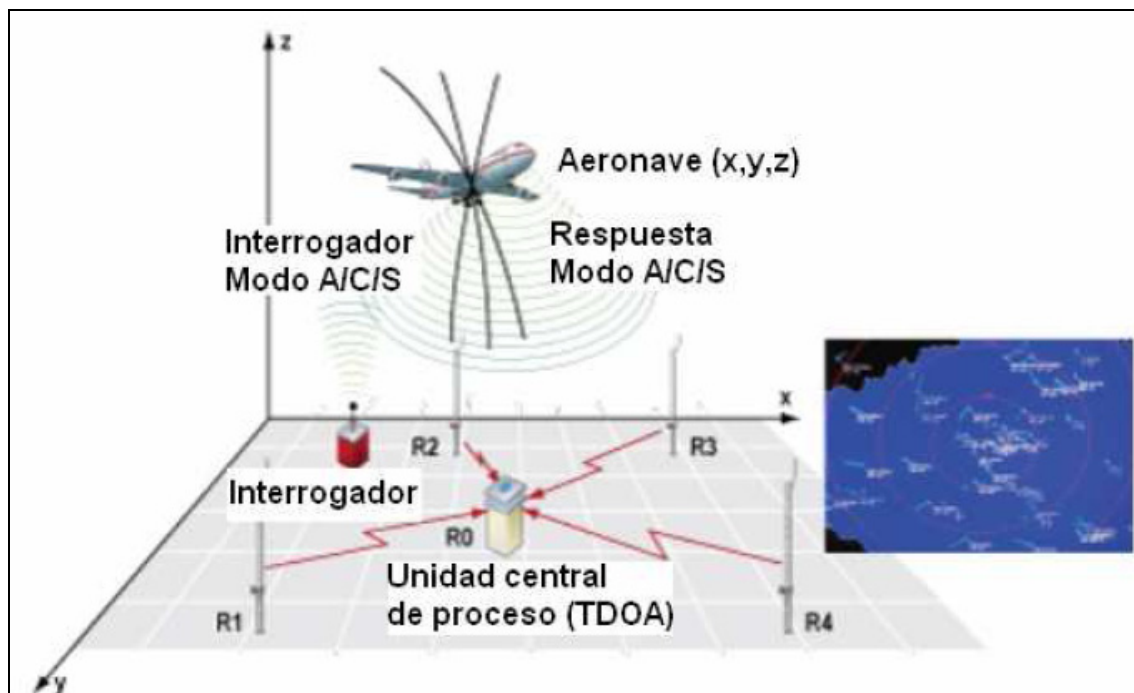


Ilustración 8: Sistema de Multilateración [23]

Consta de un equipo de tierra que es el que interroga a la aeronave y un equipo de abordó (transpondedor) que es el que responde a la interrogación de la estación de tierra.

El **equipo de tierra** emite una señal capaz de excitar el transpondedor de la aeronave a una frecuencia de 1030MHz, siendo esta igual para todos los equipos de tierra, así mismo recibe la respuesta de 1090MHz enviada por la aeronave. Está formado por siguientes sistemas [13]:



- **Estación central de proceso:** Gestiona la información obtenida, para proporcionar la posición e identificación de los blancos existentes en el volumen de cobertura. Ubicada normalmente en el centro de la red de antenas receptoras. Dispone y establece la marca de tiempo a los paquetes y señales del sistema de multilateración (Servidor NTP, relojes patrón sincronizados con GPS).
- **Sistema interrogador:** Es el encargado de excitar al transpondedor de la aeronave, según los modos de interrogación radar A/C/S. Está formado por dos transmisores Modo S y por una o varias antenas en banda L, que serán las encargadas de enviar las señales. Es controlado por la *estación central de proceso*. Véase clasificación de sistemas de interrogación según la ubicación de las antenas y la forma de sus diagramas de radiación en 1.3.1.2.
- **Estaciones receptoras:** Están formados por un conjunto de antenas (dipolo omnidireccional o sectorial en banda L) encargadas de recibir la señal procedente de los transpondedores de las aeronaves, las cuales envían dicha información a las estaciones maestras (estación central de proceso) a tiempo real mediante fibra óptica.
- **Sistema de Gestión:** Es el encargado de supervisar, monitorizar el estado y funcionamiento del sistema. Está constituida por una estación de trabajo comercial, con las interfaces de red correspondientes para conectarse a las LAN virtuales del sistema, pudiendo configurar y controlar los parámetros del sistema.
- **Sistema de presentación:** Al igual que el sistema anterior está constituido por una estación de trabajo capaz de conectarse a las LAN virtuales del sistema, presentándose los datos de vigilancia del sistema.

El **equipo de abordó o transpondedor** es el encargado de recibir la señal del equipo de tierra y generar la respuesta enviándola de vuelta, lo forman los sistemas del equipo de a bordo del SSR, cuyo elemento principal es el **transpondedor**, que es el encargado de realizar lo definido anteriormente.

### 1.3.2.2 Especificaciones y principio de funcionamiento

El **principio de funcionamiento** del sistema de multilateración consiste en realizar una interrogación selectiva a la aeronave a 1030MHz, es decir, de la misma manera que el radar secundario Modo S, y la aeronave responderá a dicha interrogación a 1090MHz al igual también que en el caso del radar secundario Modo S, esta respuesta es captada por una red de antenas uniformemente distribuidas y la estación central de proceso mediante la medida del tiempo de llegada de la señal a cada una de las antenas calculará la posición de la aeronave. Las estaciones receptoras/transmisoras más cercanas se conectan con la estación central mediante fibra óptica mientras que las más alejadas lo realizan mediante una red de radioenlaces de microondas.

Las instalaciones interrogadoras de multilateración (equipo de tierra) según la ubicación de las antenas y la forma de sus diagramas de radiación pueden clasificarse en cuatro [17]:



- **Una sola antena omnidireccional (Escenario 1):** Es el método más simple de interrogación activa, el cual se caracteriza por una única antena ubicada en el centro del Área de Control (AoC) con una potencia efectiva radiada de 27dBW en aproximación y 37dBW y un rango de inclinación requerido para un transpondedor con una sensibilidad de -74dBm dentro de un área de cobertura de  $\left(\frac{3}{2} \cdot d \cdot \sqrt{2}\right)$  como puede observarse en la Ilustración 9, siendo de 42NM en aproximación y 127NM en ruta.
- **Cuatro antenas direccionales a 90° (Escenario 2):** Está formado por 4 antenas ubicadas en las esquinas del Área de Control, con una potencia efectiva radiada de 29,5dBW en aproximación y 40dBW en ruta y con un rango de inclinación requerido para un transpondedor con una sensibilidad de -74dBm dentro de un área de cobertura de  $\sqrt{2 \cdot (2 \cdot d)^2}$  como puede observarse en la Ilustración 9, siendo de 57NM en aproximación y 170NM en ruta.

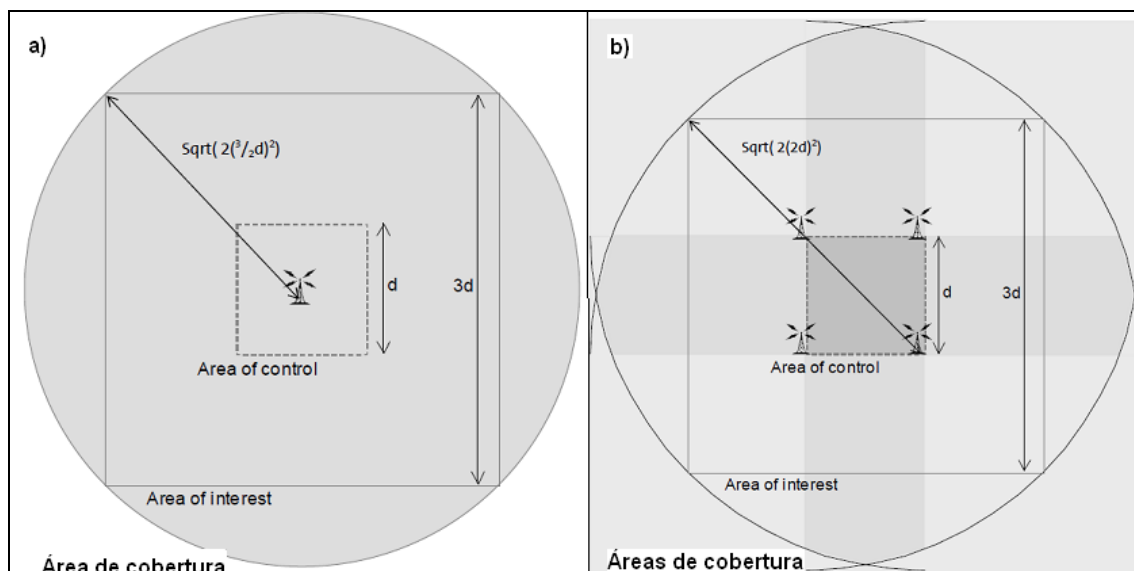


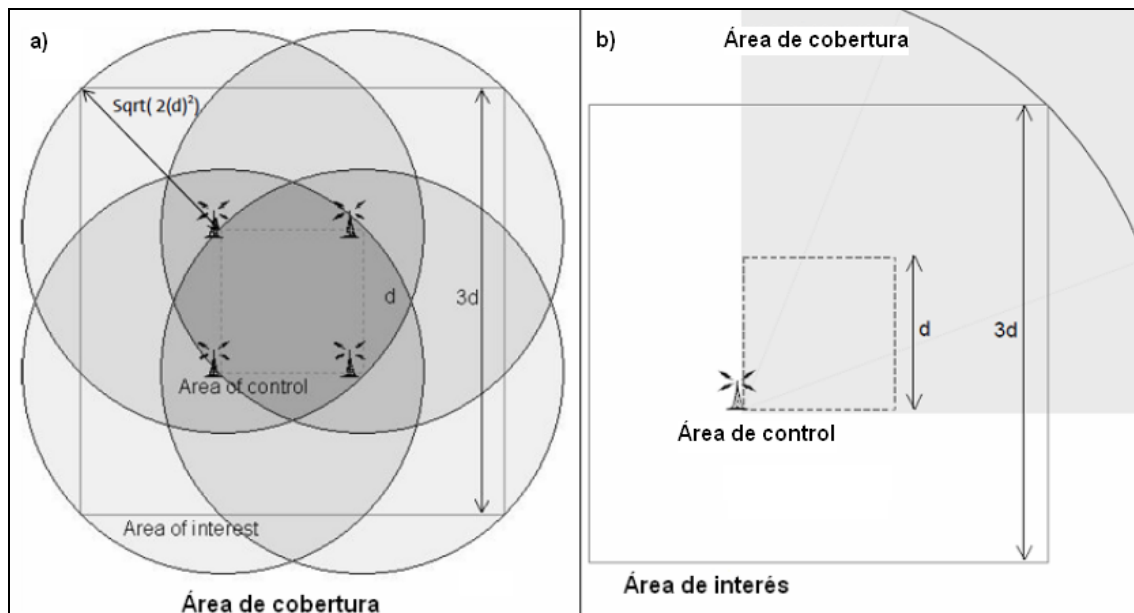
Ilustración 9: a) Escenario 1: Una sola antena omnidireccional. b) Escenario 2: Cuatro antenas direccionales a 90°. [17]

- **Cuatro antenas omnidireccionales (Escenario 3):** Lo componen 4 antenas ubicadas en las esquinas del Área de Control, con un alcance más corto de interrogación que en el caso a) o b) de la Ilustración 9. Dicho equipo dispone de una potencia efectiva radiada para aproximación de 23,5dBW y de 33,5dBW para en ruta y de un rango de inclinación requerido para un transpondedor con una sensibilidad de -74dBm, siendo de 28NM en aproximación y 85NM en ruta, véase disposición en la Ilustración 10.
- **Una antena direccional a 45° (Escenario 4):** Este caso no es directamente comparable con los tres anteriores y se ilustra de forma que sea comparable con un ejemplo de la vida real. Como se puede observar en la Ilustración 10 no todas las aeronaves estarán bajo la cobertura del interrogador activo por lo tanto los efectos de este interrogador serán significativamente menores que en los tres anteriores. Dicho equipo dispone de una potencia efectiva radiada para aproximación de 29,5dBW y de 40dBW para en ruta y de un rango de inclinación requerido para un transpondedor con una sensibilidad de -74dBm

dentro de un área de cobertura de  $\sqrt{2(d)^2}$ , siendo de 57NM en aproximación y 170NM en ruta.

El caso representado por la figura b) de la Ilustración 9, la Escenario 2, puede apreciarse que es el más crítico, por lo que su estudio será el de mayor interés.

**La velocidad máxima de interrogación** del sistema MLT según el escenario en que nos encontremos, fue calculada para ser lo que reduciría la disponibilidad del transpondedor (TA) de cualquier objeto dentro de la cobertura un máximo del 2%. Dicho umbral fue elegido, ya que es la reducción máxima permitida por un transpondedor de un sistema ACAS.



**Ilustración 10: a) Escenario 3: Cuatro antenas Omnidireccionales. b) Escenario 4: Una antena direccional a 45°. [17]**

**Tabla 7: Velocidades máximas de interrogación según los diferentes escenarios [17]**

|                    | Aproximación        |                         | En ruta             |                         |
|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|                    | Solamente<br>Modo S | Mezclado<br>Modo A/C, S | Solamente<br>Modo S | Mezclado<br>Modo A/C, S |
| <b>Escenario 1</b> | 3,33Hz              | 3,80Hz                  | 0,40Hz              | 0,50Hz                  |
| <b>Escenario 2</b> | 3,33Hz              | 3,90Hz                  | 0,40Hz              | 0,50Hz                  |
| <b>Escenario 3</b> | 3,33Hz              | 3,98Hz                  | 0,40Hz              | 0,50Hz                  |
| <b>Escenario 4</b> | 11,81Hz             | 12,77Hz                 | 1,58Hz              | 1,91Hz                  |

La capacidad de proceso del sistema depende del tipo de señales a tratar: 400 blancos si se utiliza modo S y unos 100 blancos para modo A/C convencional.

El receptor del equipo de tierra capta la respuesta emitida por el equipo de abordó a 1090MHz con un **ancho de banda típico** en dicho equipo receptor de 5,5MHz. [9] La **sensibilidad** del receptor del *equipo de tierra* será de -85dBm, ya que se ha utilizado como primera aproximación el valor procedente de la sensibilidad de un SSR. [10]

Para el *equipo de tierra* se tendrá en cuenta una **ganancia de antena** que puede variar desde 3dBi hasta 11,5dBi, dependiendo de la aplicación del sistema, si se





considera que el diagrama de radiación horizontal de la antena está dedicado a un sector específico.

La antena presenta una **potencia de transmisión** que varía desde los 60W hasta los 250W ó 1200W dependiendo de la aplicación del sistema de multilateración.

El **alcance máximo** del equipo de tierra de un radar secundario monopulso es de 250NM. Con una **capacidad** de 200 aeronaves a 90° y una capacidad total de 400 aeronaves. [3]

La **interrogación modo A y C** está formada por tres pulsos y para evitar las interrogaciones de los lóbulos secundarios se envía un pulso  $P_2$  solamente o  $P_1$  y  $P_2$  (se transmite de manera omnidireccional con 10dB menos que el lóbulo principal en el que se envían  $P_1$ ,  $P_3$  y  $P_4$  y con 10dB más que los lóbulos secundarios por los que obviamente se emiten también  $P_1$ ,  $P_3$  y  $P_4$ , de manera que al recibirse la interrogación desde un lóbulo secundario y al tener  $P_2$  una potencia superior a la sensibilidad del receptor tras recibir el primer pulso  $P_1$  desecha dicha interrogación por no corresponderse con la separación de pulsos  $P_1$ - $P_3$  de 8 $\mu$ s para Modo A o de 21 $\mu$ s para modo C), las características de éstos vienen reflejadas en la Ilustración 11 y las tolerancias de los mismos pueden observarse en la Tabla 8.

En cuanto a una **interrogación Modo S** dispone también de tres pulsos aunque en este caso se tiene  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_6$  y así mismo dispone de un pulso  $P_5$  utilizado para el control de los lóbulos secundarios ( $P_5$  tendrá mayor amplitud que el pulso  $P_6$ , y es enviado de forma que si es interrogado por los lóbulos secundarios, al recibir el  $P_5$  enmascara la inversión de fase síncrona evitando que se realice la lectura de la información de  $P_6$ , anulando por lo tanto la respuesta) la duración de estos 4 impulsos y sus disposiciones pueden observarse en la Ilustración 12, que como se puede observar el pulso  $P_6$  va precedido de  $P_1$  y  $P_2$  de forma que suprime las respuestas de los transpondedores en Modo A/C (como ya se explicó en el párrafo anterior) de forma que así se evitan distorsiones sincrónicas debidas a la activación aleatoria de interrogaciones en Modo-S.

Las tolerancias y formas de los mismos vienen reflejadas en la Tabla 8, al igual que ocurría para la “interrogación intermodo”. [1], [12]

**Tabla 8: Formas de los impulsos. Interrogaciones en Modo S y en intermodo [12]**

| Impulso              | Duración ( $\mu$ s) | Tolerancia de duración ( $\mu$ s) | Tiempo de aumento ( $\mu$ s) |        | Tiempo de disminución ( $\mu$ s) |        |
|----------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------|----------------------------------|--------|
|                      |                     |                                   | Mínimo                       | Máximo | Mínimo                           | Máximo |
| $P_1, P_2, P_3, P_5$ | 0,8                 | $\pm 0,1$                         | 0,05                         | 0,1    | 0,05                             | 0,2    |
| $P_4$ (corto)        | 0,8                 | $\pm 0,1$                         | 0,05                         | 0,1    | 0,05                             | 0,2    |
| $P_4$ (largo)        | 1,6                 | $\pm 0,1$                         | 0,05                         | 0,1    | 0,05                             | 0,2    |
| $P_6$ (corto)        | 16,25               | $\pm 0,25$                        | 0,05                         | 0,1    | 0,05                             | 0,2    |
| $P_6$ (largo)        | 30,25               | $\pm 0,25$                        | 0,05                         | 0,1    | 0,05                             | 0,2    |

La **frecuencia portadora de todas las interrogaciones** (transmisiones que tienen lugar en el enlace ascendente) de los equipos de tierra con funciones Modo S será de 1030MHz con una tolerancia de  $\pm 0,01$ MHz. [12]

En la Ilustración 13 se pueden apreciar la definición de las formas de onda así como diversas definiciones como la amplitud del pulso, la duración del pulso, el intervalo entre pulsos, los intervalos de tiempo, etc.

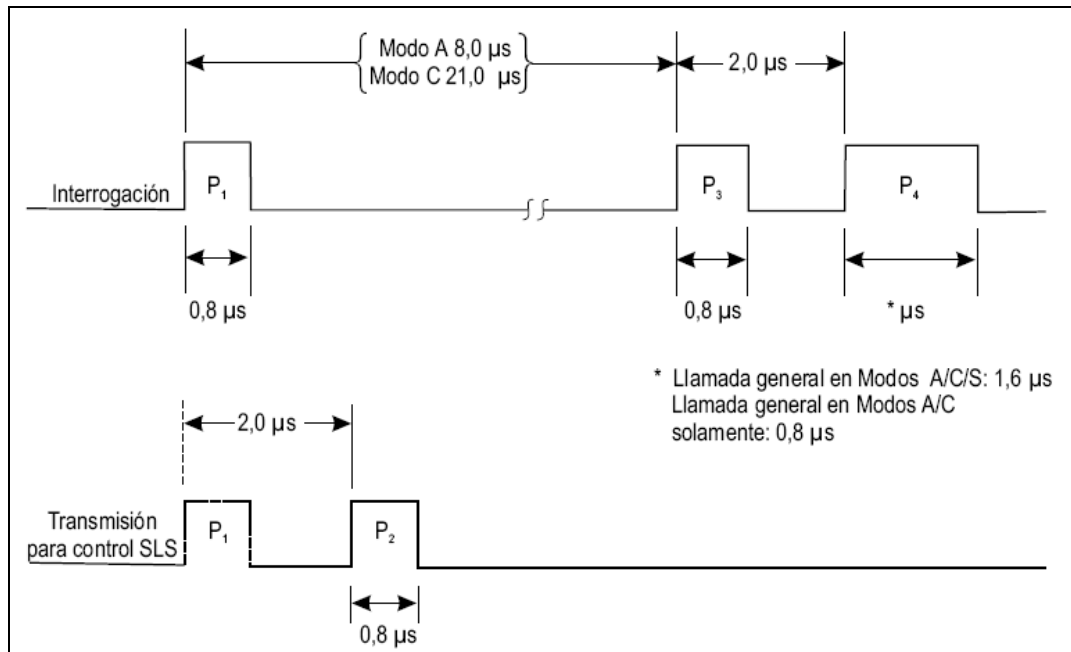


Ilustración 11: Secuencia de impulsos de interrogación en intermodo [12]

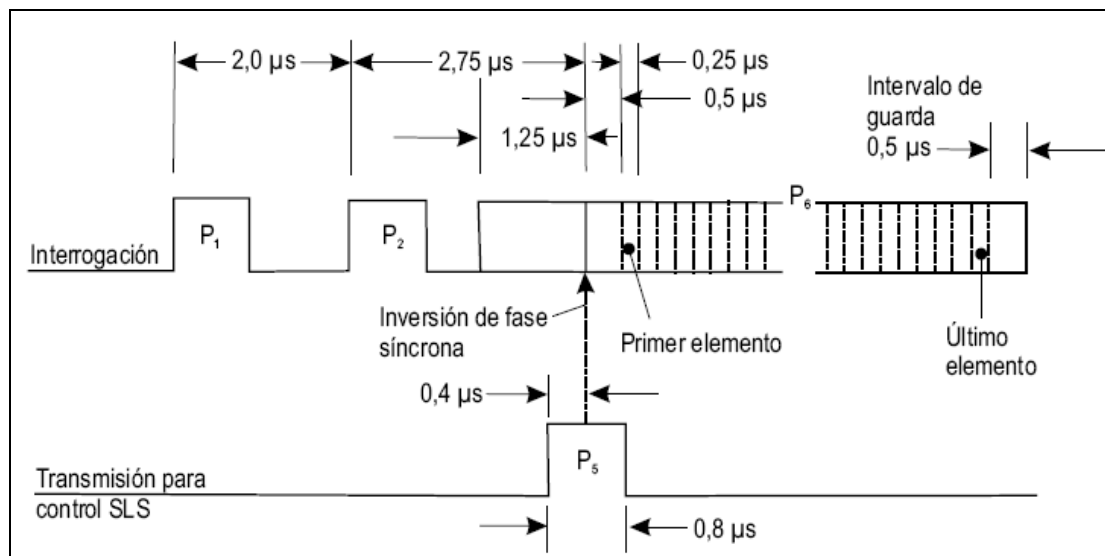
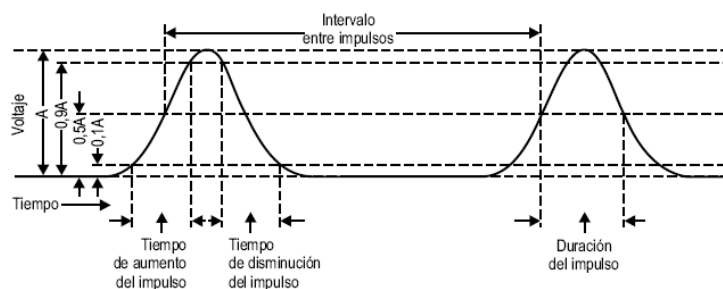


Ilustración 12: Secuencia de impulsos de interrogación en Modo S [12]



## Definiciones

**Amplitud del pulso  $A$ .** La amplitud máxima de voltaje de la envolvente del pulso.

**Duración de la inversión de fase.** El intervalo de tiempo entre los puntos situados a  $10^\circ$  y a  $170^\circ$  de una inversión de fase.

**Duración del pulso.** El intervalo de tiempo entre los puntos  $0.5A$  de los bordes anterior y posterior de la envolvente del pulso.

**Intervalo entre impulsos.** El intervalo de tiempo entre los puntos  $0.5A$  de los bordes anteriores del primer pulso y del segundo.

**Intervalos de tiempo.** Los puntos de referencia para medir los intervalos de tiempo son:

- el punto  $0.5A$  en el borde anterior del pulso.
- el punto  $0.5A$  en el borde posterior del pulso, o
- el punto a  $0.90^\circ$  de una inversión de fase.

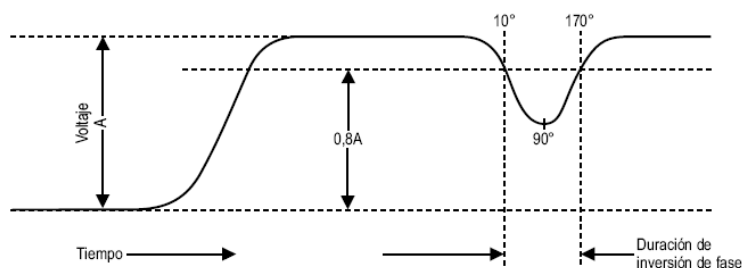
**Inversión de fase.** Un cambio de fase de  $180^\circ$  de la portadora de radiofrecuencias.

**Punto de referencia para sensibilidad y potencia del respondedor.** El extremo en el lado de la antena de la línea de transmisión del respondedor.

**Tiempo de aumento del pulso.** El tiempo medio entre  $0.1A$  y  $0.9A$  en el borde anterior de la envolvente del pulso.

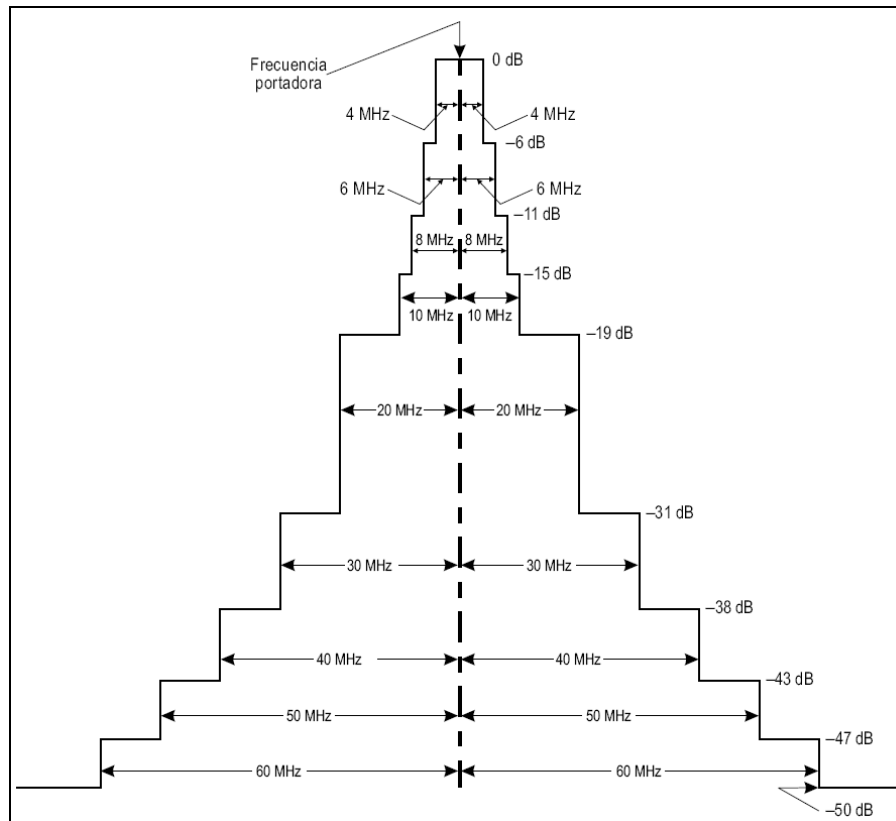
**Tiempo de disminución del pulso.** El tiempo medio entre  $0.9A$  y  $0.1A$  en el borde posterior de la envolvente del pulso.

**Nota.**—Como aproximación del punto de  $90^\circ$  de la inversión de fase puede tomarse el punto de amplitud mínima de la parte transitoria de amplitud de la envolvente asociada con la inversión de fase y como aproximación para la duración de inversión de fase puede tomarse el intervalo de tiempo entre los puntos  $0.8A$  de esta parte transitoria.



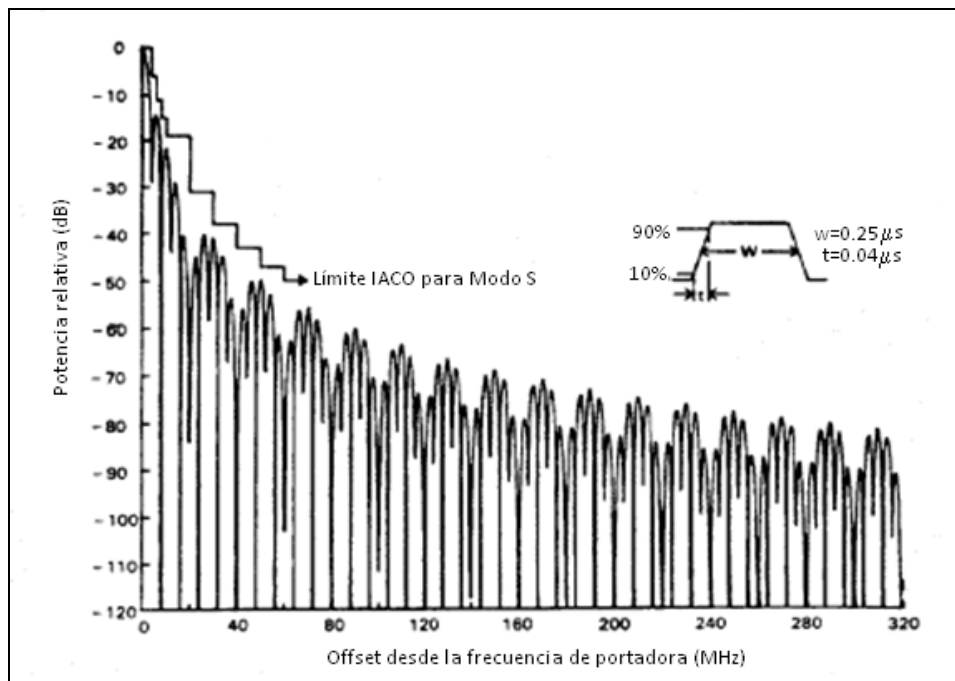
**Ilustración 13: Definición de las formas de onda, intervalos y puntos de referencia para sensibilidad y potencia del radar secundario de vigilancia [12]**

El **espectro de interrogación SSR Modo S** en torno de la frecuencia de interrogación no excederán los límites que pueden observarse en la Ilustración 14. Este espectro depende de los datos de dicha interrogación cuya anchura máxima corresponde a una interrogación en la que todos sus valores binarios son 1. [12]



**Ilustración 14: Límites del espectro requeridos para el transmisor del interrogador [12]**

En la Ilustración 15 se puede observar las bandas laterales generadas por una interrogación Modo S de la señal de radio frecuencia, mientras que si observamos la Ilustración 16 en la que se ha pasado la señal por un filtro Butterworth de segundo orden de ancho de banda de 25MHz para limitar la interferencia en la banda del radar primario.



**Ilustración 15: Bandas laterales en una interrogación Modo S [3]**

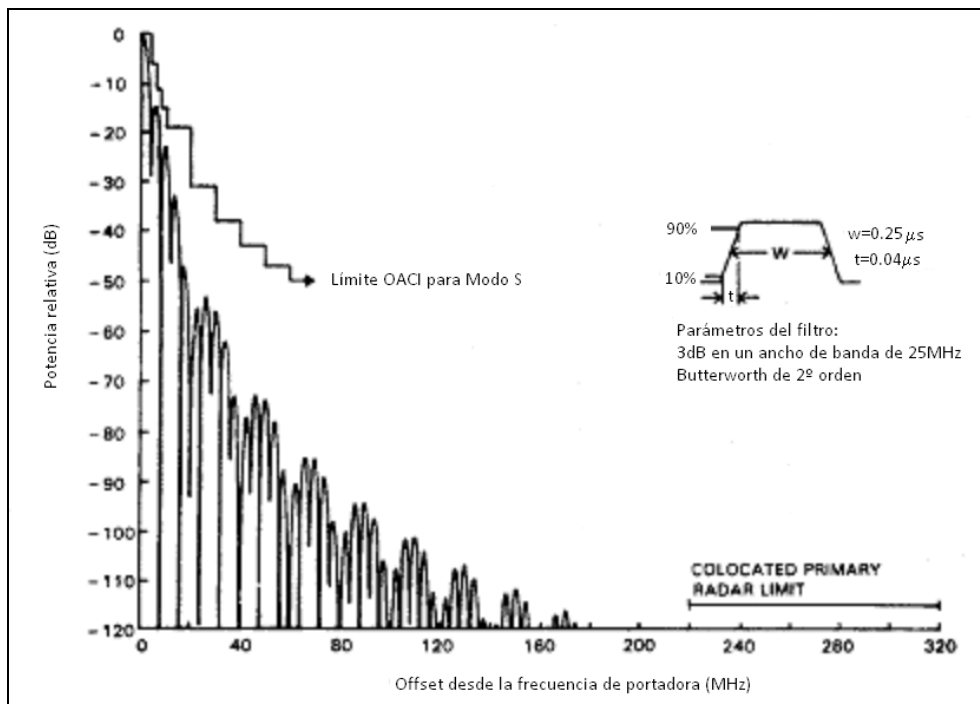


Ilustración 16: Bandas laterales en una interrogación Modo S después del filtrado [3]

La **modulación** utilizada para la frecuencia de la portadora de las *interrogaciones* en Modo S es una modulación por impulsos. Los impulsos  $P_6$  tienen a su vez una modulación en fase diferencial binaria, la cual consiste en invertir la fase  $180^\circ$  a un régimen de 4 megabits por segundo. La duración de la inversión de fase será inferior a  $0,08\mu s$  y se tendrá un avance uniforme de fase en toda la región de transición. [12]

La **polarización** de las transmisiones de interrogación y control será nominalmente vertical, al igual que ocurría en el caso del DME.

El *receptor de abordó* capta la interrogación emitida por la estación en tierra a 1030MHz con un **ancho de banda típico** en dicho equipo receptor de 9MHz. Deberá tener una **sensibilidad** de -71dBm para una interrogación en Modo A/C y -74dBm para una Modo S. [9]

La **ganancia de la antena** del *transpondedor* será de 0dB y el nivel de la señal dependerá de la altura de vuelo, por encima de FL150 estará en torno a 21-27dBW y por debajo de FL150 en torno a 18.5-27dBW.

La **antena** del *transpondedor* está diseñada para operar en un amplio plano horizontal formado por el fuselaje de la aeronave. En la practica el plano horizontal no es infinito y está curvado en al menos una dimensión. La antena puede ser ocultada por los motores o las alas y puede actuar también con otras antenas montadas cerca. Se espera que el diagrama de radiación esté lejos del ideal, un ejemplo de diagrama de radiación de una antena de un transpondedor puede observarse en la Ilustración 17. [3]

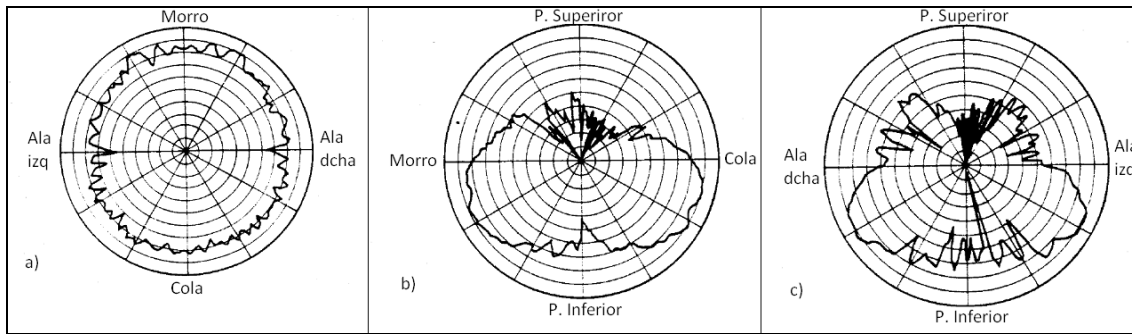


Ilustración 17: Diagrama de radiación de un Beech B-99: a) Plano horizontal. b) Ala-ala. c) Morro-Cola. Ruedas y flaps recogidos. [3]

En lo que respecta a las respuestas del *transpondedor* (equipo de abordo) la **frecuencia de la portadora** (transmisiones del enlace descendente) será de  $1090 \pm 1 \text{ MHz}$  y cuyo **espectro en frecuencia** se puede observar en la Ilustración 18. [12]

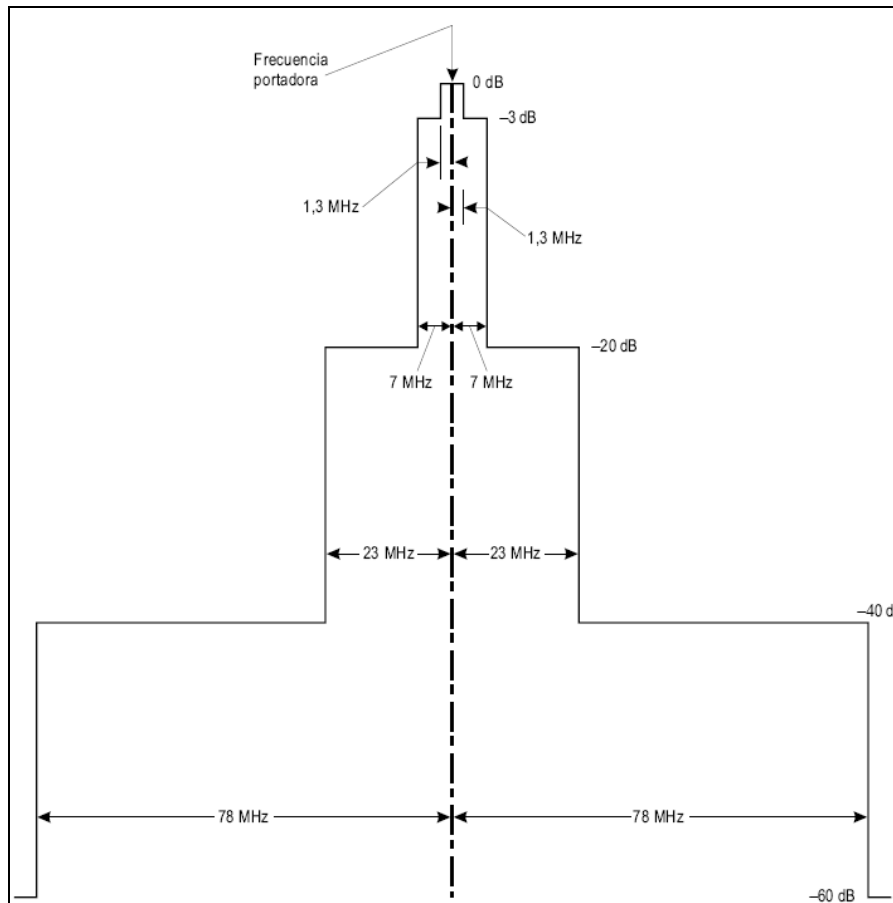


Ilustración 18: Límites del espectro requeridos para el transmisor del interrogador [12]

Hay dos tipos de señales squitter Modo S procedentes de las aeronaves [17]:

- Pequeñas emisiones de squitters a un ritmo de 1Hz desde todos los transpondedores Modo S.
- Extendidas emisiones de squitters a un ritmo de 2,2Hz desde el 50% de los transpondedores Modo S.



Las pequeñas emisiones de squitters consisten en una emisión de  $64\mu\text{s}$  que contiene la dirección de la aeronave. Las extendidas squitters son una emisión de  $120\mu\text{s}$  que da una información más detallada de la aeronave. En cuanto a la emisión squitter a un ritmo de 2,2 veces por segundo nos proporciona 2 posiciones de aeronaves squitter por segundo y una identificación de aeronave squitter cada 5 segundos.

Las respuestas del transpondedor están formadas por un preámbulo y por un bloque de datos, en el que el preámbulo está formado por 4 impulsos de  $0,5\pm 0,05\mu\text{s}$  dispuestos según indica la Ilustración 19. El bloque de datos comenzará  $8\mu\text{s}$  después del borde anterior del primer impulso transmitido, está sometido a una modulación binaria de impulsos en posición a un régimen de datos de 1 megabit por segundo, el cual consta de 56 ó 112 bits de información de  $1\pm 0,05\mu\text{s}$  de duración. [12]

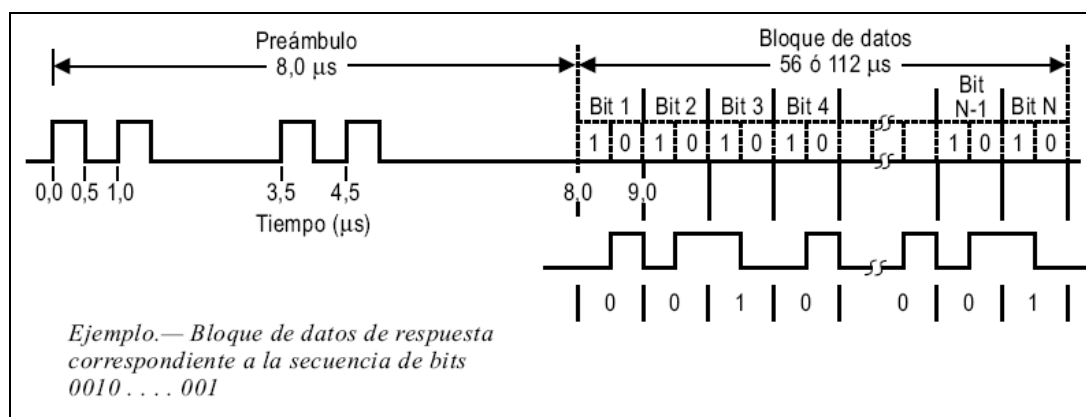


Ilustración 19: Respuesta en Modo S [12]

En lo que respecta a la **sensibilidad** del *transpondedor* se analizará en función de un determinado nivel de entrada de señales de interrogación y de un porcentaje dado de las correspondientes respuestas, contándose solamente las respuestas correctas que contengan la configuración de bits requerida para la interrogación. Dada una interrogación que requiere respuesta, el nivel mínimo de activación (MTL), se definirá como el nivel mínimo de potencia de entrada correspondiente a una razón de respuesta de interrogación del 90%, siendo de  $-74\text{dBm}\pm 3\text{dB}$ . En los transpondedores Modo S será de por lo menos del 99% para los niveles de entrada de señal comprendidos entre 3dB por encima del MTL y  $-21\text{dBm}$  y no inferior al 10% en los niveles de entrada de señal inferiores a  $-81\text{dBm}$ . [12]

Cuando el transmisor del interrogador no esté transmitiendo una interrogación, su **potencia radiada aparente de salida** no será superior a  $-5\text{dBm}$  a cualquier frecuencia comprendida entre 960 MHz y 1 215MHz. Esta limitación garantiza que las aeronaves que vuelan cerca del interrogador (incluso a distancias de 1 NM) no estarán sometidas a interferencias que impedirían su seguimiento por otro interrogador. En algunos casos son de importancia incluso distancias más pequeñas de interrogador a aeronave, por ejemplo, si se utiliza la vigilancia en Modo S en la superficie del aeropuerto. En tales casos pudiera ser necesario limitar aún más la potencia de salida del interrogador en estado inactivo. La potencia de salida deberá ser de  $24\pm 3\text{dBW}$  medido en la antena al final del cable de radiofrecuencia. Los transpondedores de la Aviación General pueden operar reduciendo la potencia de salida si su vuelo está limitado por debajo de 15000ft, la potencia de salida será como valor mínimo  $18,5\text{dBW}$ . [3], [12]



Al igual que ocurría con la interrogación la **polarización** de las transmisiones de respuesta serán normalmente vertical.









---

# Capítulo 2: DISEÑO

## 2.1 Introducción

### 2.1.1 BANDA-L

Es el conjunto de frecuencias comprendida entre los 960-1215MHz en la que se ubican gran parte de los sistemas utilizados en la navegación aeronáutica.

#### 2.1.1.1 Sistemas aeronáuticos operando en la Banda-L

- Sistemas civiles [9]:
  - **DME:** Opera en distintos rangos de frecuencia a lo largo de la banda de radionavegación aeronáutica (962-1213MHz).
  - **SSR:** Equipo en tierra opera a 1030MHz y el equipo de abordaje responde a 1090MHz.
  - **UAT:** Emisión de enlace de datos que operan en 978MHz. Está actualmente en fase de despliegue para emplearse en Aviación General en Estados Unidos.
  - **GSM:** Es un sistema que está basado en TDMA/FDMA que opera en la banda de 880-960MHz. El rango de frecuencias del enlace ascendente es de 890-915MHz y el del enlace descendente de 935-960MHz.
  - **GNSS:** Es el término genérico designado para los sistemas de navegación por satélite que proporciona la posición en el espacio dentro de una cobertura global. Opera en la banda de 1614-1215MHz, adyacente a la banda de frecuencia de interés.
- Sistemas militares como [9]:
  - **TACAN:** Tiene un funcionamiento igual que el DME utilizando las mismas frecuencias que éste.
  - **JTIDS/MIDS:** Comparte asignación espectral con el DME, solapándose con el mismo, operando en la banda de 960-1215MHz utilizando TDMA. El sistema dispone de comunicaciones aire-aire y aire-tierra.
  - **RSBN/PRMG:** Sistema militar ruso de navegación acimut/alcance. Sus frecuencias se solapan con las del DME 960-1000MHz.
  - **IFF:** Utiliza las mismas frecuencias que el SSR (1030/1090MHz).

### 2.1.1.2 Fuentes de interferencia

Hay tres mecanismos básicos por los cuales la actuación de sistemas puede ser reducido por interferencias de radio frecuencia [15]:

- **Radiación directa:** Donde una parte del sistema o un sistema irradia energía a una frecuencia que está siendo utilizada por un sistema aeronáutico, el sistema aeronáutico recibirá directamente la señal de interferencia. Dada la elevada sensibilidad de la mayoría de los sistemas aeronáuticos, puede provocar problemas de interferencias una señal de poca potencia. Además, sufrirán interferencias todos los sistemas que están dentro del alcance de la fuente de interferencia y que estén sintonizados a la misma frecuencia.
- **Productos de modulación de tercer orden:** Puede causar interferencias, una o más fuentes de interferencia sobre determinadas frecuencias relacionadas con la misma a la que funciona el sistema aeronáutico. Hay un gran número de mecanismos que producirán efectos de tercer orden, entre los más importantes se puede destacar:
  - Productos de intermodulación producidos en las etapas de salida de un transmisor o en la entrada de un receptor como resultado de la no-linealidad.
  - Los planes de la modulación digital de producir las transmisiones de gran ancho de banda (con una función espectral modificada sinc<sup>5</sup>).
  - Un receptor superheterodino (que representa casi todos los diseños de receptores modernos) con una frecuencia imagen a la que también recibirá las señales. Aunque los fabricantes tratan de incluir filtros que impidan que la frecuencia imagen llegue al receptor, que normalmente ofrece 80dB de rechazo, una fuerte señal se recibe a la frecuencia imagen. También es el caso de las transmisiones en el receptor de la frecuencia intermedia.
  - Transmisiones en canales adyacentes al que opera el sistema aeronáutico, mientras que esté dentro de sus especificaciones puede ser tan fuerte como para superar el filtro incluido en el sistema aeronáutico diseñado para rechazar dichas señales.
- **Inducción:** Donde los sistemas están situados particularmente en fuertes campos de radiofrecuencia, la radiofrecuencia puede ser introducida en las longitudes de metal (que de hecho actúan como pequeñas antenas) que causan el mal funcionamiento del sistema. Cabe señalar que este tipo de interferencia puede afectar a cualquier sistema que es susceptible a las radiofrecuencias. El nivel de susceptibilidad de cada uno de los sistemas que van a sufrir es una función de varios factores, entre ellos la protección, el filtrado y otras medidas de protección. Campos suficientemente fuertes pueden causar problemas en:
  - Transmisores de alta potencia (transmisores de radiodifusión, enlaces ascendentes vía satélite y radares en particular pueden tener potencias radiadas del orden de MW).



- Equipos industriales de calefacción de radiofrecuencia.
- Cargando inductores para transmisores de baja frecuencia.

#### 2.1.1.3 Tipos de interferencias detectadas [6], [7], [9], [15]

- DME y JTIDS y SSR con los sistemas IFF.
- DME y TACAN: Es imposible instalar DME y TACAN ya que producirían interferencias por operar en la misma banda de frecuencias, por lo tanto se evitan con una adecuada planificación.
- DME y JTIDS existen bastantes interferencias cuando usan la misma frecuencia aunque suelen ser por muy poco tiempo ya que JTIDS cambia la frecuencia de portadora cada 13µs.
- DME/TACAN y el receptor de abordaje del SSR: Con una proporción de respuestas del 90% en presencia de 3600 pares de pulsos por segundo de señales del DME/TACAN (Modo X e Y) con una potencia de -30dBm y una frecuencia comprendida entre 962-1020MHz y 1041-1213MHz.
- En el receptor DME de la aeronave entre señales de diversos canales con la misma frecuencia y mismo espaciado entre pares de pulsos: Los requerimientos de exactitud que se esperan en presencia de 3600 pares de pulsos por segundo con un mínimo C/I de 8dB.
- En el receptor DME de la aeronave entre señales de diversos canales con la misma frecuencia y distinto espaciado entre pares de pulsos: Los requerimientos de exactitud que se esperan en presencia de 3600 pares de pulsos por segundo con un mínimo C/I de -42dBm.
- En el receptor DME entre señales de Onda Continua (CW): Los requisitos de sensibilidad que se esperan en la banda de CW debe ser de hasta -99dBm y fuera de la banda de CW de hasta -40dBm. Factor de servicio de tiempo asignado 100/50 y una mínima separación vertical de 1000ft.
- Interferencias de banda ancha en el receptor DME: Valor máximo de -90dBm/MHz entre el ancho de banda del receptor basado en los requisitos de sensibilidad como para el caso CW.
- Entre el equipo DME de abordaje de la aeronave y JTIDS/MIDS: Se debe tener un valor máximo de -36dBm en la antena basado en los requerimientos del tiempo de adquisición.
- Entre el equipo DME de tierra y señales de Onda Continua: La eficiencia de las respuestas debe seguir siendo mayor del 70% en presencia de señales CW en la banda con un mínimo C/I de 10dB.
- Entre el equipo DME de tierra y JTIDS/MIDS: Tolerable hasta -56dBm en la antena basado en requisitos de tiempo de adquisición. Factor de servicio de tiempo asignado 100/50.

- Interferencias en el equipo receptor de abordaje del SSR: Con una proporción de respuestas del 90% en presencia de 2000 pares de pulsos por segundo con un nivel de -80dBm y duración de pulso de 6,4µs a la frecuencia de 1030MHz.
- Equipo receptor de tierra del SSR y JTIDS/MIDS: Tolerado hasta -20dBm en la antena. Factor de servicio de tiempo asignado 100/50.
- Entre SSR: Con una proporción de respuestas del 95% en presencia de interferencias no sincronizadas de interrogaciones de pulsos Modo A/C con un mínimo C/I de 12dB.
- GNSS el cual opera en la banda adyacente.
- GSM debido a que opera en la banda adyacente, al igual que el GNSS.
- Fallos en los equipos.
- Equipos electrónicos.

#### 2.1.1.4 Modelos de propagación

Estos modelos intentan predecir las pérdidas en la propagación basadas en geometría óptica.

##### 2.1.1.4.1 *Espacio libre*

Las pérdidas de propagación que deben tener en cuenta considerando las antenas como isotrópicas situadas en un dieléctrico perfecto, homogéneo, isótropo y en un medio ideal sin obstáculos, manteniendo las distancias entre antenas. Se debe hacer notar que se utilizará el subíndice “f” (de “free space”) en todos los símbolos de pérdidas, en estas condiciones de propagación. A continuación se presenta la forma de calcular la pérdida básica de propagación en condiciones de espacio libre: [18]

$$L_{bf}(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda}\right)$$

**Ecuación 3: Pérdida básica de propagación de espacio libre [18]**

Para obtener la pérdida de transmisión (relación entre la potencia entregada a la antena transmisora y la potencia disponible en la antena receptora), es necesario considerar las ganancias isotrópicas de las antenas transmisora y receptora,  $G_t$  y  $G_r$  respectivamente.

$$L_{tf}(\text{dB}) = L_{bf}(\text{dB}) - G_t(\text{dB}) - G_r(\text{dB})$$

**Ecuación 4: Pérdida de transmisión en el espacio libre [4]**

##### 2.1.1.4.2 *Modelo de propagación estándar aeronáutico (ASPM)*

Para distancias sobre el horizonte radio se considerará propagación en el espacio libre. Por debajo de este horizonte radio se aplicará un factor de atenuación, el cual depende de la banda de frecuencias considerada. [18]



La distancia del horizonte radio puede ser calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$d_{RH} = \sqrt{2 \cdot k \cdot R_E} \cdot (\sqrt{h_{Tx}} + \sqrt{h_{Rx}})$$

**Ecuación 5: Distancia del horizonte radio [18]**

Siendo:

- $k$  Factor de radio efectivo de la Tierra suele ser igual a 4/3.
- $R_E$  Radio de la Tierra que es igual a 6360 km.
- $h_{Tx}$  Altura de la antena de transmisión sobre la superficie de la Tierra.
- $h_{Rx}$  Altura de la antena de recepción sobre la superficie de la Tierra.

$$L_{bf}(d) = \begin{cases} 37.8 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \rightarrow Si : d \leq d_{RH} \\ a(d - d_{RH}) + L(d_{RH}) \rightarrow Si : d > d_{RH} \end{cases}$$

**Ecuación 6: Pérdida de transmisión entre el Transmisor y receptor en función de la distancia (dB) [18]**

Siendo:

- $d$  Distancia entre transmisor y receptor (NM).
- $d_{RH}$  Distancia del horizonte radio (NM).
- $f$  Frecuencia (MHz)
- $a$  Factor de atenuación constante más allá del horizonte radio (dB/NM).  
 En la banda de 108-137MHz:  $a=0.5\text{dB/NM}$   
**En la banda de 960-1215MHz:  $a=1.6\text{dB/NM}$**   
 En la banda de 5030-5091MHz:  $a=2.7\text{dB/NM}$
- $L(d_{RH})$  Pérdida de transmisión del espacio libre para la distancia sobre el horizonte radio.

#### 2.1.1.4.3 *Modelo de propagación en espacio libre modificado por el efecto suelo*

Este modelo se emplea en bandas de frecuencia de VHF y superiores, por lo tanto aplicable para los sistemas analizados en el presente documento. Para dichas frecuencias la ionosfera carece de efecto.

Se realizará la hipótesis de consideración del modelo de tierra plana, homogénea y  $\psi$  pequeño ( $\psi$  es el ángulo de incidencia, véase Ilustración 20), ya que se va a analizar distancias cortas en comparación con el radio terrestre, para las que puede despreciarse la curvatura terrestre y en el que se dispondrá de un terreno exento de obstáculos. Se establece además que  $IRI \approx 1$  ( $R$  es el coeficiente de reflexión) y  $\beta \approx \pi$  ( $\beta$  es la fase del coeficiente de reflexión), se puede establecer que el campo eléctrico recibido tiene la siguiente expresión:

$$e = e_0 \left[ \sin \left( \frac{2\pi \cdot h_{tx} \cdot h_{rx}}{\lambda \cdot d} \right) \right]$$

**Ecuación 7: Campo eléctrico con  $|R| \approx 1$  y  $\beta \approx 1$**

Donde:

- $e_0$  es el campo eléctrico que se recibiría sólo por el rayo directo.
- $h_{tx}$  y  $h_{rx}$  son las alturas de las antenas de transmisión y recepción, respectivamente.
- $d$  es la distancia entre las dos antenas.
- $\lambda$  es la longitud de onda.

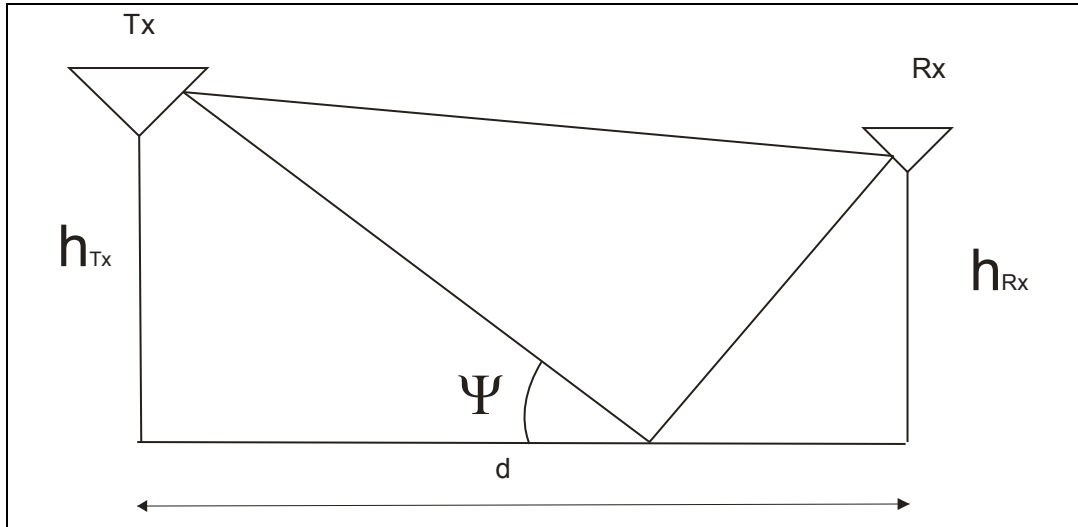
Aunque no se ha tenido en cuenta en este apartado, el coeficiente de reflexión puede variar según sea propagación vertical u horizontal, tomando los siguientes valores:

$$R_V = \frac{\varepsilon_0 \cdot \sin \psi - \sqrt{\varepsilon_0 - \cos \psi}}{\varepsilon_0 \cdot \sin \psi + \sqrt{\varepsilon_0 - \cos \psi}}; R_H = \frac{\sin \psi - \sqrt{\varepsilon_0 - \cos \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\varepsilon_0 - \cos \psi}}$$

**Ecuación 8: Coeficientes de reflexión**

Donde:

- $\varepsilon_0 = \varepsilon_r - j60\sigma \cdot \lambda$ , siendo  $\varepsilon_0$  la permitividad compleja del suelo,  $\varepsilon_r$  la constante dieléctrica relativa y  $\sigma$  la conductividad.



**Ilustración 20: Modelo de propagación de tierra plana**

Si se consideran distancias lo suficientemente grandes de forma que cumplan  $d > (12 \cdot h_{tx} \cdot h_{rx})/\lambda$ , el error cometido al considerar que el seno de la expresión del campo eléctrico es aproximadamente igual a su arco, es admisible.

Concluyendo tras las simplificaciones mencionadas anteriormente, las pérdidas básicas mediante este modelo, vienen representadas por la siguiente expresión:

$$l_b = \left( \frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \left( \frac{\lambda \cdot d}{4\pi \cdot h_{tx} \cdot h_{rx}} \right)^2 = \frac{d^4}{(h_{tx} \cdot h_{rx})^2}$$

**Ecuación 9: Pérdida básica de propagación con campo corregido**





## 2.2 Estudio teórico

En este apartado se identificarán y estudiarán las interferencias existentes entre los sistemas de multilateración y el equipo de tierra del DME. Dichas interferencias son causadas por transmisiones de estaciones de multilateración cercanas a las estaciones DME de tierra.

En este estudio se ha analizado el DME/N en el modo X debido a que las aeronaves y estaciones de tierra equipadas con DME modo Y son muy bajas. Así como los modos W y Z ya que estos pertenecen al DME/P.

En cuanto a los sistemas de MLT será motivo de análisis tan sólo el Modo S del SSR cuya interrogación es a 1030MHz mediante tres pulsos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_6$ .

### 2.2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO

Primeramente se realizará el análisis estático en el que se calcularán las potencias de interferencias recibidas por cada estación receptora de tierra sin considerar las capacidades de filtrado.

#### 2.2.1.1 Cálculos de potencia

##### *a. Modelo señal transmitida por el DME/N en tierra*

A continuación, se estudiará el modelo de la señal transmitida por la estación de tierra del DME/N, para lo cual se considerará que estas tienen forma Gaussiana según indica la siguiente expresión:

$$S_{DME}(t) = \sqrt{P_T} \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S_{PP}(t - t_k) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{DME} \cdot t + \varphi)$$

**Ecuación 10: Modelo propuesto señal transmitida del DME/N como entrada a la antena del equipo de tierra del DME.**

En el que

- $S_{PP}(t) = e^{-\alpha \cdot t^2} + e^{-\alpha(t - \Delta t_{PP})^2}$ .
- $P_T$  es el pico de potencia transmitido por el respondedor de la estación de tierra del DME/N expresada en W. Dicho sistema tiene un mínimo de pico de potencia de 100W (Véase [7]) y para ruta tiene un mínimo de pico de potencia de 1000W.
- $f_{DME}$  es la frecuencia de portadora de la señal transmitida por el DME/N expresada en Hz. (Véase 1.3.1.2)
- $\alpha = 4.5 \times 10^{11} \text{ s}^{-2}$ .
- $\Delta t$  es la separación entre pulsos, para el modo X tiene un valor de 12µs y 30µs para el modo Y.

- $t_k$  es el tiempo entre pares de pulsos emitidos. Este valor puede modelarse mediante un proceso de Poisson.
- $\varphi$  es el desfase inicial de la señal de portadora del DME.

El modelo de señal para  $S_{PP}(t)$  debe ser tal que la duración de los pulsos entre los puntos de semiampplitud es  $3.5\mu s$  y la separación entre los mismos de  $12\mu s$ . La representación del módulo de  $S_{DME}$  del modelo puede observarse en la Ilustración 21. [7]

- **Cálculo de  $t_k$ :**

Como se ha mencionado anteriormente, la variable  $t_k$  se puede estimar mediante un proceso de Poisson. La distribución de Poisson se aplica a fenómenos discretos de la naturaleza cuando la probabilidad de ocurrencia es independiente en el tiempo y/o en el espacio.

Se define " $P(k,t)$ " como la probabilidad de exactamente " $k$ " llegadas en un intervalo de tiempo de longitud " $t$ ".

Un *proceso es de Poisson* si y solo si:

- Para intervalos apropiadamente pequeños  $\Delta t$ :
$$P(k,t) = \begin{cases} \lambda \Delta t & \text{para } (\lambda \text{ es la tasa promedio de llegadas)} \\ 1 - \lambda \Delta & \text{para } k = 0 \\ 0 & \text{para } k > 1 \end{cases}$$
- Cualesquiera eventos definidos para tener lugar en intervalos de tiempo no superpuestos son mutuamente independientes.

Un proceso también es de Poisson si los tiempos entre llegadas sucesivas (tiempos entre llegadas de primer orden) si se cumplen las siguientes premisas:

- Son variables aleatorias exponenciales (donde la función de densidad de una distribución exponencial es  $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$ ).
- Idénticamente distribuidas.

Por lo tanto, se puede aplicar la distribución de Poisson debido a que:

- Es un proceso **sin memoria** (cada llegada es independiente de cuando se produjo la anterior).
- Además el número de fuentes es tan grande que se puede considerar que la tasa media de llegada de unidades no depende de la ventana temporal ni del espacio y es por lo tanto una constante ( $\lambda$ ).
- Y, por último, es un proceso en el cual la probabilidad de que se produzca  $n$  llegadas en un intervalo de tiempo  $t$  viene dado por la



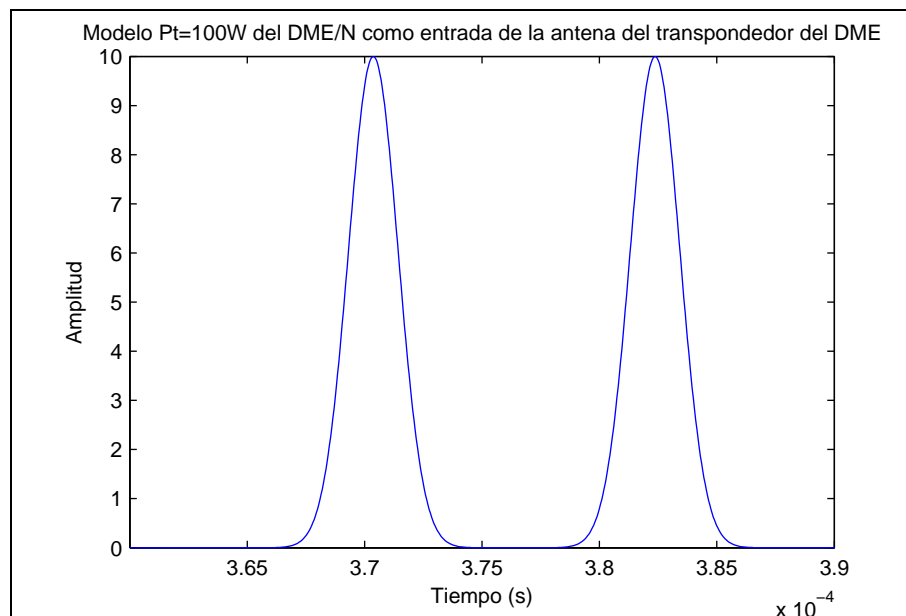
siguiente expresión (función de densidad):  $f(k) = P(k, \lambda) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$ , tal que  $\lambda > 0$  y  $k$  es un número entero no negativo. Por definición  $\lambda$  es el valor medio de sucesos esperados, aplicado al caso estudiado será el valor promedio de la distancia entre pares de pulsos.

Para hallar  $t_k$  se deberá estimar el parámetro  $\lambda$  de la distribución de Poisson para lo cual se debe utilizar el método de máxima verosimilitud, ya que es el método que nos permite estimar una determinada variable con una muestra finita de datos.

$$t_k = \bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x}$$

**Ecuación 11: Estimación del parámetro  $\lambda$  por el método de máxima verosimilitud**

Siendo este el estimador de máxima verosimilitud de una distribución de Poisson en el que  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  es una muestra de la distancia entre pares de pulsos emitidos por una estación DME/N en tierra. Al no disponer de este serie de datos y como es conocido el número de pares de pulsos emitidos por la misma según se ha expuesto en 1.3.1.2 (en ciclo útil constante es de 2700pps (pares de pulsos por segundo) y en el ciclo útil variable tiene un valor como mínimo de 1350pps y como máximo 2700 ó 4800pps) se utilizará como valor estimado de  $t_k$  el correspondiente a  $\frac{1}{2700}$  para la realización de los cálculos.



**Ilustración 21: Módulo de  $S_{DME}$  con  $P_t=100W$  del DME/N como entrada de la antena del transpondedor del DME**

### *b. Modelo de la señal transmitida por el sistema MLT en tierra*

Se realizará a continuación un modelo de la señal de salida de una estación de multilateración. La estación estudiada como se ha mencionado anteriormente realiza

una interrogación en modo-S a 1030MHz, la cual está compuesta de 3 pulsos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_6$ .

$$S_{MLT}(t) = \sqrt{P_T} \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S_{P_1P_2P_6}(t - t_k) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{MLT}(t - t_k) + \varphi)$$

**Ecuación 12: Modelo propuesto señales de las estaciones MLT en tierra**

En el que:

- $S_{P_1P_2P_6}(t) = w\left(\frac{t}{T_1}\right) + w\left(\frac{t - \Delta T_{12}}{T_2}\right) + w\left(\frac{t - \Delta T_{16}}{T_6}\right) \cdot M(t - \Delta T_{16})$
- $P_T$  es el pico de potencia de transmisión de la estación de multilateración en tierra, expresada en W. Se considera para dicho análisis que este valor es 1200W.
- $f_{MLT}$  es la frecuencia de portadora de la estación de multilateración en tierra. Se considerará que este valor es 1030MHz.
- $w$  es la ventana de cada pulso.
- $T_1$  es la duración del pulso  $P_1$ . En el que dicho valor es 0.8μs.
- $T_2$  es la duración del pulso  $P_2$ . En el que dicho valor es 0.8μs.
- $T_6$  es la duración del pulso  $P_6$ . En el que dicho valor es 16.25μs.
- $\Delta T_{12}$  es el tiempo de separación entre  $P_1$  y  $P_2$ . Considerándose igual a 2.0μs.
- $\Delta T_{16}$  es el tiempo de separación entre  $P_1$  y  $P_6$ . Considerándose igual a 3.5μs.
- $M(t)$  es la señal de modulación del chip  $P_6$ .
- $t_k$  es el tiempo de transmisión de cada interrogación.
- $\varphi$  es el desfase inicial de la portadora del MLT.

*c. Potencia de las respuestas del equipo de tierra del sistema DME en los receptores del sistema de multilateración*

Se va a determinar la potencia de la señal de la estación de tierra del DME recibida por el receptor del equipo de tierra del sistema de multilateración.

$$S_{DME}(t) = \sqrt{P_R} \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S_{PP}(t - \tau - t_k) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{DME}(t - \tau) + \varphi)$$

**Ecuación 13: Modelo propuesto señal recibida del DME/N como entrada a la antena de recepción de MLT.**



En el que

- $S_{pp}(t) = e^{-\alpha \cdot t^2} + e^{-\alpha(t-\Delta t_{pp})^2}$
- $P_R$  es el pico de potencia recibido por la estación de tierra del DME/N expresada en W. Puede ser modelada dependiendo de la potencia transmitida, la altura de la antena de transmisión sobre tierra, la altura de la antena de recepción sobre tierra, la distancia entre las dos antenas. Asumiendo que la distancia entre las dos antenas es:

$$d \geq \frac{2D_T^2}{\lambda} + \frac{2D_R^2}{\lambda}$$

En el que:

- $D_T$  es el tamaño de la esfera más pequeña incluyendo la antena del transmisor.
- $D_R$  es el tamaño de la esfera más pequeña incluyendo la antena del receptor.
- $\lambda$  es la longitud de onda de la señal de portadora.
- La tierra se modela como un dieléctrico con rugosidad. La altura de la estación del DME se asume que es 3.5m.
- $f_{DME}$  es la frecuencia de portadora de la señal recibida por el DME/TACAN expresada en Hz.
- $\alpha = 4.5 \times 10^{11} \text{ s}^{-2}$ .
- $\Delta t$  es la separación entre pulsos, para el modo X tiene un valor de 12μs y 30μs para el modo Y.
- $t_k$  es el tiempo de transmisión de cada par de pulsos.
- $\tau$  es el retraso de propagación entre el respondedor del DME en tierra y el receptor de multilateración.
- $\phi$  es el desfase inicial de la señal de portadora del DME.

En **modo X** las frecuencias de transmisión de las *estaciones de tierra del DME* más próximas son 1024MHz y 1151MHz, que están muy lejos de la frecuencia de la estación de MLT de tierra que reciben a una frecuencia de 1090MHz. Las dos frecuencias de transmisión de las estaciones de tierra del DME consideradas para evaluar las interferencias en las estaciones de multilateración de tierra son **1024MHz y 1151MHz**.

Es importante darse cuenta según se indica en la tabla A de la referencia [6] que las frecuencias de transmisión de las estaciones de tierra en el modo Y desde 1085MHz hasta 1103MHz, ambos inclusive, pueden ser utilizados por asignación nacional como opción secundaria. La razón principal de reservar esos canales es producir protección

para el sistema SSR. Así que las frecuencias de transmisión de las *estaciones de tierra del DME* en **modo Y** más próximas a 1090MHz es **1084MHz**.

Por lo tanto, se calculará para esas tres frecuencias 1024MHz, 1084MHz y 1151MHz para 100W (área Terminal DME/N) y 1000W (en ruta DME/N).

A continuación, se realizará el estudio de la potencia de la señal enviada por el equipo de tierra del DME que llegaría al receptor del equipo de tierra de multilateración. Para lo cual se representará la potencia disponible en el receptor en función de la distancia mediante la fórmula de Friis, basada en el modelo del apartado 2.1.1.4.1, que dice lo siguiente:

$$p_{dR} = A_{eR} \cdot \Phi_i = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot g_R \cdot \frac{p_{eT} \cdot g_T}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

**Ecuación 14: Fórmula de Friis**

Siendo:

- $\Phi_i$ : Densidad de potencia producida por la antena transmisora en el lugar que ocupa la receptora.
- $\lambda$ : Longitud de onda.  $\lambda = c/f$ .
- $g_R$ : Ganancia del receptor.
- $g_T$ : Ganancia del transmisor.
- $p_{eT}$ : Potencia entregada transmitida.

Para el análisis de la potencia disponible en el receptor se ha utilizado una ganancia del transmisor (equipo de tierra DME) de 12dB debido a que se analizará el caso más desfavorable para una antena DME omnidireccional (véase 1.3.1) y una ganancia del receptor (equipo de tierra del sistema de multilateración) 0dB. En lo que respecta a la frecuencia, como se mencionó anteriormente, se ha estudiado para 1024MHz, 1151MHz y 1084MHz por ser las de mayor interés. Y finalmente como potencia transmitida se ha elegido 100W, por tratarse de la potencia de transmisión utilizada por la estación DME en el área de aproximación y 1000W para estaciones DME en ruta.

En lo que respecta al análisis de la potencia disponible en el receptor con la consideración de campo corregido, se ha utilizado el modelo explicado en el apartado 2.1.1.4.3, según el cual se ha llegado a la siguiente expresión:

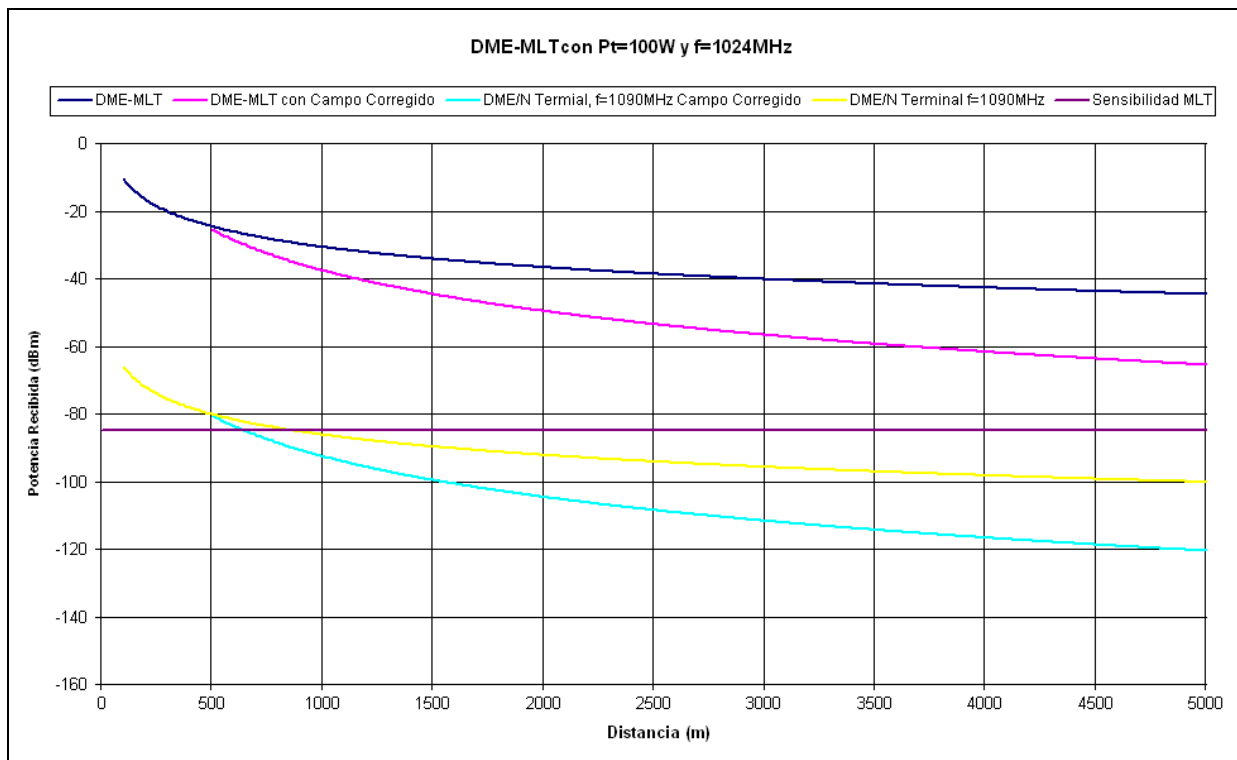
$$p_{dR} = p_{eT} \cdot g_{tx} \cdot g_{rx} \frac{(h_{tx} \cdot h_{rx})^2}{d^4}$$

**Ecuación 15: Potencia disponible en el receptor considerando campo corregido**

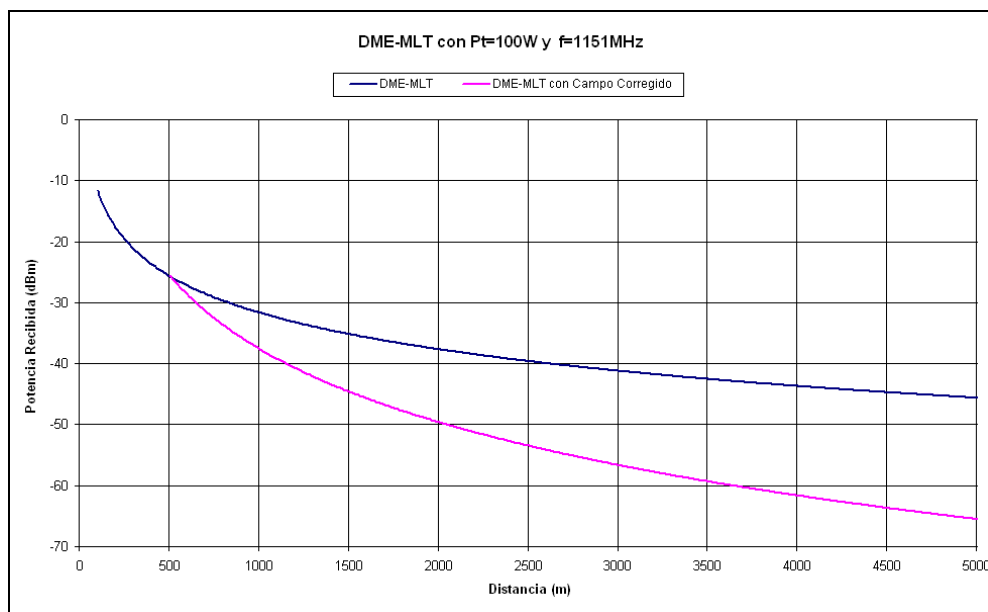
Estableciendo a su vez unos valores para las alturas de las antenas de los equipos de: 3,5m para la estación DME y de 3m para la del sistema de multilateración.



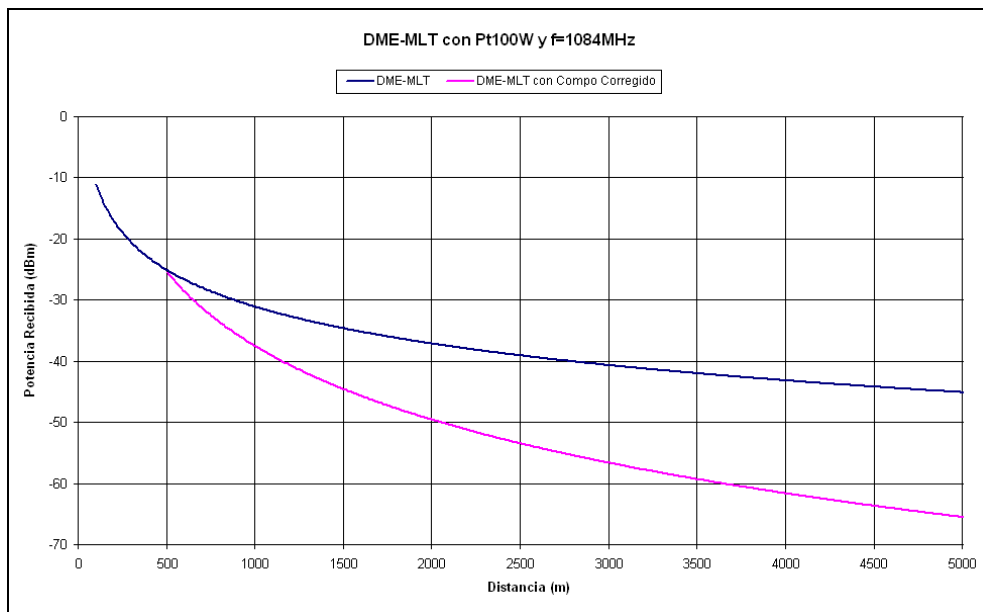
## Capítulo 2: DISEÑO



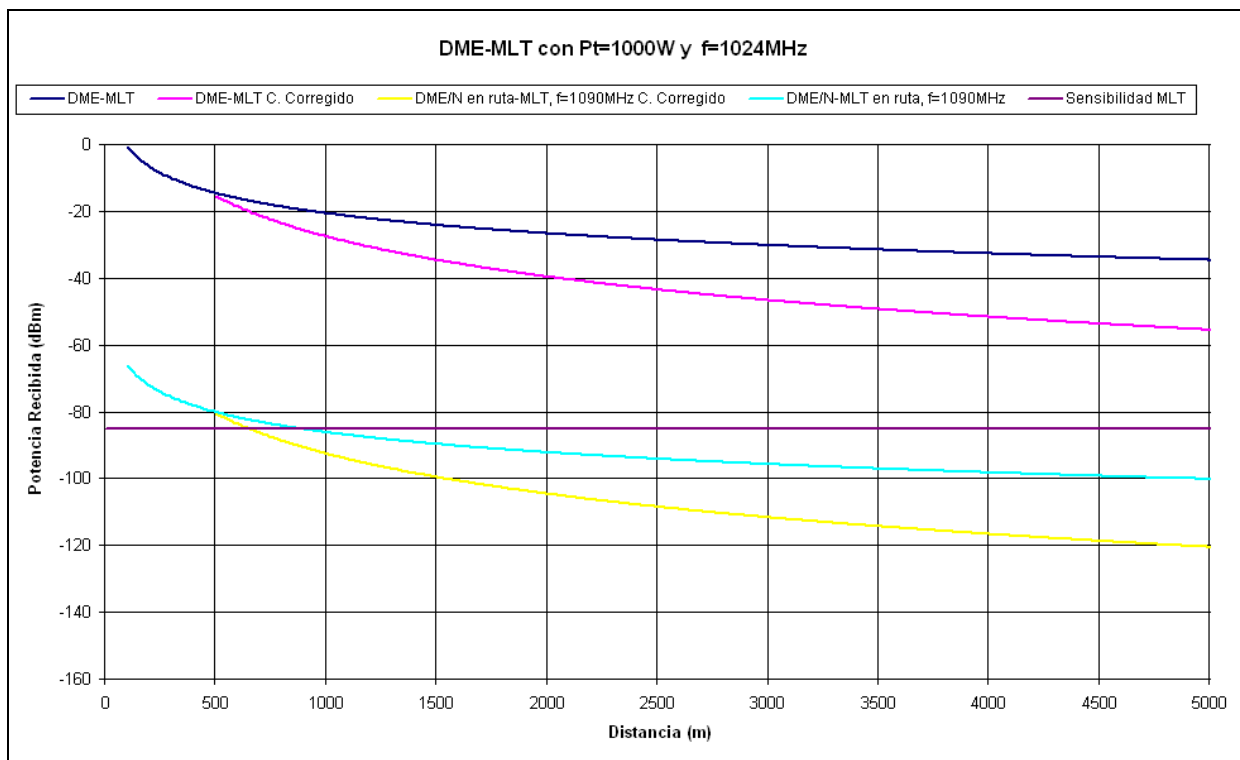
**Ilustración 22: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=100W$ ,  $f=1024MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**



**Ilustración 23: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=100W$ ,  $f=1151MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**



**Ilustración 24: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=100W$ ,  $f=1084MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**

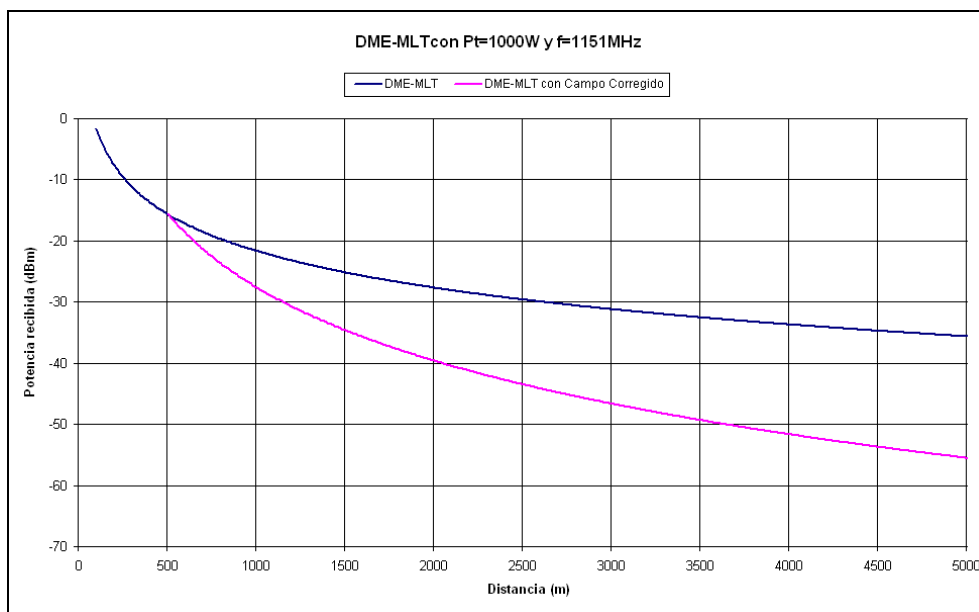


**Ilustración 25: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=1000W$ ,  $f=1024MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**

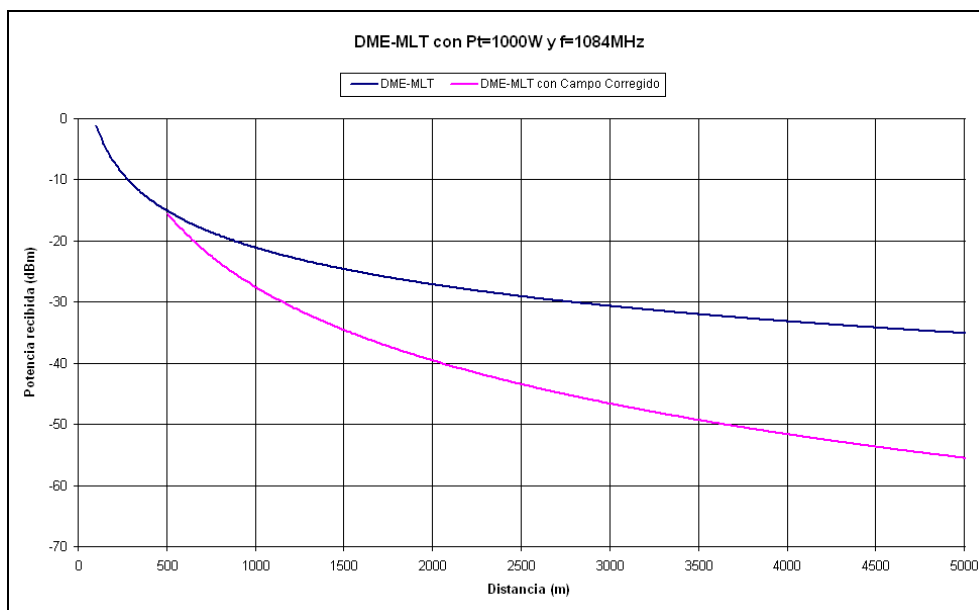




## Capítulo 2: DISEÑO



**Ilustración 26: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=1000W$ ,  $f=1151MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**



**Ilustración 27: Potencia disponible en el receptor de MLT, con  $P_t=1000W$ ,  $f=1084MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$**

**Tabla 9: Resumen valores Potencia disponible en el receptor MLT**

|            |   | $P_d(dBm)$ [a 500m] |                     | $P_d(dBm)$ [a 5000m] |                     |
|------------|---|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|            |   | Espacio libre       | Con Campo Corregido | Espacio libre        | Con Campo Corregido |
| $P_t=100W$ | $f=1024MHz$ , $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 22) | -25                 | -25                 | -44,6                | -65,5               |
|            | $f=1151MHz$ , $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 23) | -25                 | -25                 | -45,6                | -65,5               |



## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|             |  |       |       |        |         |
|-------------|--|-------|-------|--------|---------|
|             | f=1084MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 24)           | -25   | -25   | -45,1  | -65,5   |
|             | f=1090MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>[ESPURIOS](Véase Ilustración 22) | -80,2 | -80,5 | -100,2 | -120,53 |
| $P_t=1000W$ | f=1024MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 25)           | -16   | -16   | -34,6  | -55,5   |
|             | f=1151MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 26)           | -16   | -16   | -35,6  | -55,5   |
|             | f=1084MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>(Véase Ilustración 27)           | -16   | -16   | -35,1  | -55,5   |
|             | f=1090MHz, $h_{DME}=3,5m$ , $h_{MLT}=3m$<br>[ESPURIOS](Véase Ilustración 25) | -80,2 | -80,5 | -100,2 | -120,5  |

Las dos frecuencias de transmisión de las estaciones de tierra del DME/N modo X, por tratarse de las más próximas a 1090MHz (frecuencia de recepción del sistema de MLT), consideradas para la evaluación de interferencias son **1024MHz** y **1151MHz**, la primera dispone de -66MHz desde la frecuencia central de las estaciones de tierra de MLT (1090MHz), mientras que la segunda dispone de 61MHz.

Según lo descrito en el apartado 1.3.2.2 la sensibilidad del equipo receptor de tierra del sistema de MLT será de **-85dBm**. Teniendo en cuenta la envolvente del espectro de frecuencias del DME/N de tierra (Ilustración 5), se realiza la hipótesis conservativa de que a una frecuencia superior a los 2MHz de la emitida por el DME la potencia será constante de -65dB del valor nominal para DME/N en ruta y -55dB del valor nominal para DME/N Terminal. Por lo tanto en la frecuencia de recepción del sistema de multilateración, 1090MHz, como se aprecia en la Ilustración 22 y la Ilustración 25 se observa que no afectarán las interrogaciones realizadas por el equipo de tierra del DME/N al receptor de tierra del sistema de multilateración a partir de unos **870m** si las potencias se han calculado en el **espacio libre**, para **DME/N terminal y DME/N en ruta** y **650m** si se calcula con **campo corregido** también para ambos tipos de DME/N, ya que a partir de entonces la potencia que le llega al equipo receptor es inferior a la sensibilidad del mismo.

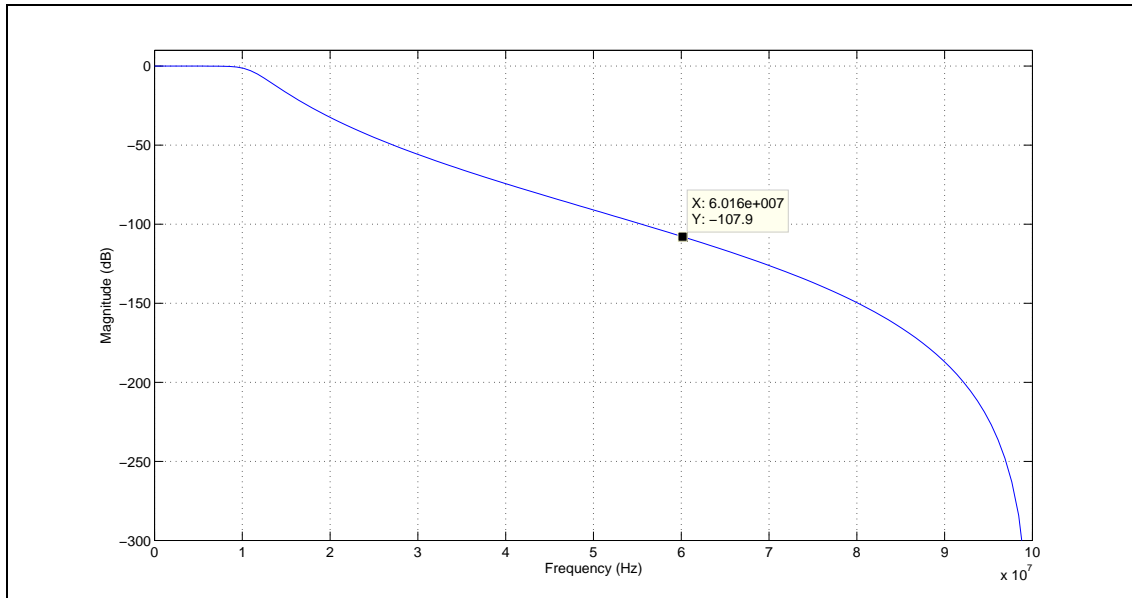
Posteriormente se estudiará como afectan las señales interferentes en el receptor del sistema de MLT en las frecuencias propias de los equipos interferentes, analizando las capacidades de filtrado del receptor de la estación de tierra del sistema de MLT, se determina el nivel de señal de interferencia disponible en dicho receptor. Para lo cual se ha diseñado tres posibles filtros: Butterworth, Chebyshev y filtro digital FIR.

- **Butterworth:** Se ha diseñado un filtro de butterworth de orden 6, de 22MHz (Frecuencia de corte de 11MHz), cuya programación puede observarse en el *Anexo 1-apartado 2*, cuya función de transferencia puede observarse en la Ecuación 16. En la Ilustración 28 se puede apreciar su representación gráfica, ésta nos indica como atenúa las frecuencias el receptor de MLT cuya frecuencia central está fijada en 1090MHz (frecuencia de recepción del sistema de MLT).



$$H(s) = \frac{1.443e-005 \cdot s^6 + 8.661e-005 \cdot s^5 + 0.0002165 \cdot s^4 + 0.0002887 \cdot s^3 + 0.0002165 \cdot s^2 + 8.661e-005 \cdot s + 1.443e-005}{s^6 \cdot 4.666 \cdot s^5 + 9.191 \cdot s^4 - 9.765 \cdot s^3 + 5.893 \cdot s^2 - 1.913 \cdot s + 0.2609}$$

**Ecuación 16: Función de transferencia filtro Butterworth**



**Ilustración 28: Filtro Butterworth receptor MLT**

Como se mencionó anteriormente, la desviación de frecuencias entre la frecuencia de recepción de MLT y la frecuencia de la señal de interferencia más próxima del DME está entorno a los 60MHz, con lo cual filtrará la señal de interferencia en unos **110dB**.

- **Chebyshev:** En este caso se ha diseñado un filtro de Chebyshev de orden 6, de 22MHz (Frecuencia de corte de 11MHz), cuya programación puede observarse en el *Anexo 1-apartado3*, su función de transferencia puede verse en la Ecuación 17. La Ilustración 29 muestra la representación gráfica del presente filtro. La atenuación que producirá a frecuencias que difieren 60MHz de la frecuencia de recepción de MLT (1090MHz) es de unos **130dB**.

$$H(s) = \frac{1.978e-006 \cdot s^6 + 1.187e-005 \cdot s^5 + 2.967e-005 \cdot s^4 + 3.956e-005 \cdot s^3 + 2.967e-005 \cdot s^2 + 1.187e-005 \cdot s + 1.978e-006}{s^6 - 5.429 \cdot s^5 + 12.46 \cdot s^4 - 15.44 \cdot s^3 + 10.91 \cdot s^2 - 4.163 \cdot s + 0.6701}$$

**Ecuación 17: Función de transferencia filtro Chebyshev**

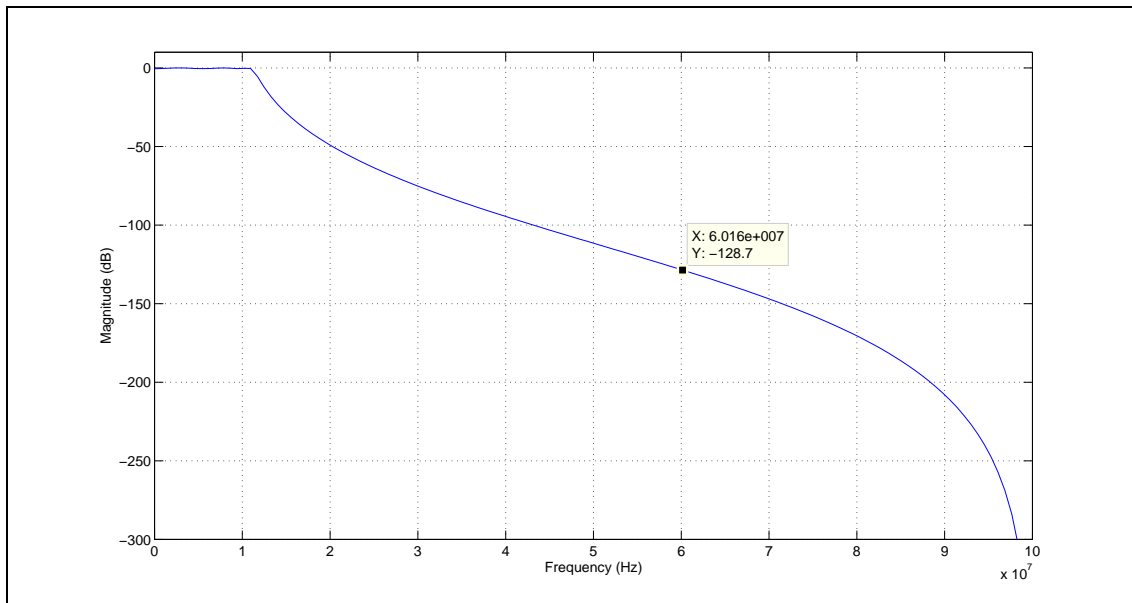


Ilustración 29: Filtro Chebyshev receptor MLT (22MHz)

- **Filtro digital FIR:** Con la ayuda de la herramienta “Filter Design” del programa Matlab, se ha diseñado un filtro FIR, cuyo método de diseño será “Least-squares”, de orden 248°, una frecuencia de paso de 5MHz, una frecuencia de parada de 5,2MHz (véase *Anexo 1-apartado 4* ). La representación gráfica se representa en la Ilustración 30, de la cual se puede apreciar que a 60MHz de la frecuencia de recepción el filtro produciría una atenuación de **60dB** aproximadamente.

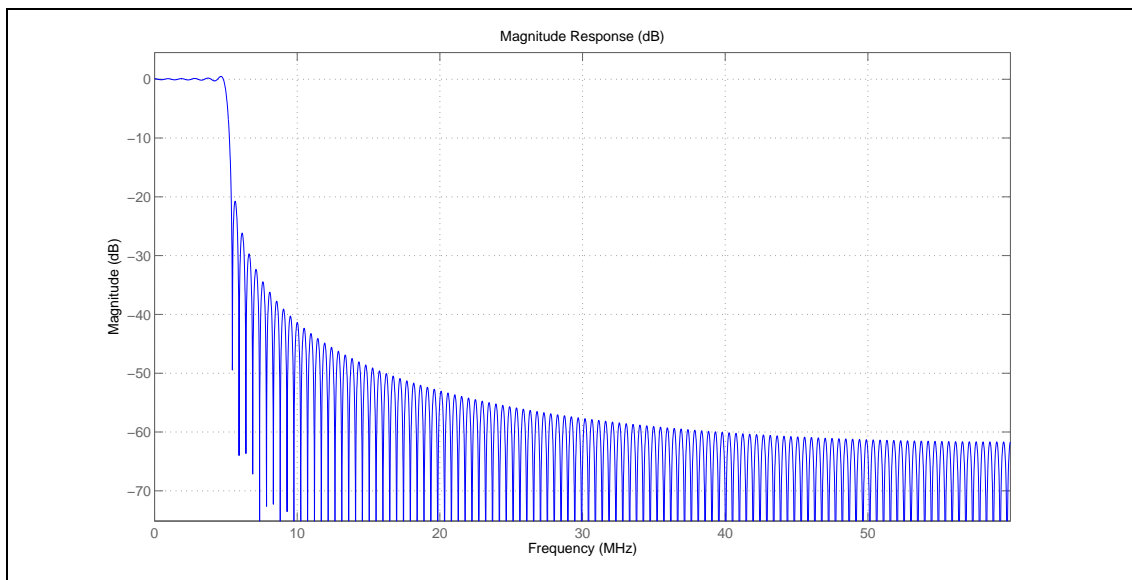


Ilustración 30: Filtro digital FIR receptor MLT

Analizando los filtros en anteriormente diseñados, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 9 de las potencias disponibles en el receptor del sistema de MLT a las frecuencias **1024** y **1151MHz** (frecuencias más próximas a 1090MHz del DME/N modo X).



Primeramente se estudiará la frecuencia de **1024MHz para DME/N en ruta** (1000W) y terminal (100W). Para el primer caso (**en ruta**), se tiene una potencia disponible en espacio libre de **-16dBm a 500m** y **-34,6dBm a 5000m**, por lo tanto al pasar el filtro se obtendrá:

- Para el filtro *butterworth* se tendría: **-16dBm-110dB=-126dBm** a 500 y para 5000m **-34,6dBm-110dB=-144,6dBm**.
- En el caso del filtro de *Chebyshev*: **-16dBm-130dB=-146dBm** a 500m y a 5000m **-34,6dBm-130dB=-164,6dBm**.
- Y para el caso de filtro *FIR*: a 500m **-16dBm-60dB=-76dBm** y **-34,6dBm-60dB=-94,6dBm** a 5000m.

En el segundo caso (**DME/N terminal**), se tiene una potencia disponible en espacio libre, para la frecuencia de **1024MHz**, de **-25dBm a 500m** y **-44,6dBm a 5000m**, por lo tanto al pasar el filtro se obtendrá:

- Para el filtro *butterworth* se tendría: **-25dBm-110dB=-135dBm** a 500 y para 5000m **-44,6dBm-110dB=-154,6dBm**.
- En el caso del filtro de *Chebyshev*: **-25dBm-130dB=-155dBm** a 500m y a 5000m **-44,6dBm-130dB=-174,6dBm**.
- Y para el caso de filtro *FIR*: a 500m **-25dBm-60dB=-85dBm** y **-44,6dBm-60dB=-104,6dBm** a 5000m.

A continuación, se estudiará la frecuencia de **1151MHz para DME/N en ruta** (1000W). Se tiene una potencia disponible en espacio libre de **-16dBm a 500m** y **-35,6dBm a 5000m**, por lo tanto al pasar el filtro se obtendrá:

- Para el filtro *butterworth* se tendría: **-16dBm-110dB=-126dBm** a 500 y para 5000m **-35,6dBm-110dB=-145,6dBm**.
- En el caso del filtro de *Chebyshev*: **-16dBm-130dB=-146dBm** a 500m y a 5000m **-35,6dBm-130dB=-165,6dBm**.
- Y para el caso de filtro *FIR*: a 500m **-16dBm-60dB=-76dBm** y **-35,6dBm-60dB=-95,6dBm** a 5000m.

Para el **DME/N terminal** (100W) y el canal de **1151MHz**, se tiene una potencia disponible en espacio libre de **-25dBm a 500m** y **-45,6dBm a 5000m**, por lo tanto al pasar el filtro se obtendrá:

- Para el filtro *butterworth* se tendría: **-25dBm-110dB=-135dBm** a 500 y para 5000m **-45,6dBm-110dB=-155,6dBm**.
- En el caso del filtro de *Chebyshev*: **-25dBm-130dB=-155dBm** a 500m y a 5000m **-45,6dBm-130dB=-175,6dBm**.
- Y para el caso de filtro *FIR*: a 500m **-25dBm-60dB=-85dBm** y **-45,6dBm-60dB=-105,6dBm** a 5000m.

Que como puede observarse **afectarían** tan solo para distancias entre las antenas próximas a los **1000m** en el caso de disponer de un **filtro FIR para DME/N en ruta** para ambas frecuencias, ya que la potencia se encontraría por encima de la sensibilidad (-85dBm) del equipo receptor de MLT en tierra.

Tabla 10: Distancias entre antenas de tierra DME- MLT para evitar las interferencias

| $f_{DME}$ (MHz) | $ f_{DME}-f_{MLT} $ (MHz) | Atenuación envolvente frecuencias DME (dB) |         | Distancia Antenas con Campo Corregido (m) |         |
|-----------------|---------------------------|--|---------|---|---------|
|                 |                           | Terminal                                   | En Ruta | Terminal                                  | En Ruta |
| 962             | 128                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 967             | 123                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 972             | 118                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 977             | 113                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 982             | 108                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 987             | 103                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 992             | 98                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 997             | 93                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1002            | 88                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1007            | 83                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1012            | 78                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1017            | 73                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1022            | 68                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
|                 |                           |  |         |   |         |
| 1151            | 61                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1156            | 66                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1161            | 71                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1166            | 76                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1171            | 81                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1176            | 86                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1181            | 91                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1186            | 96                        | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1191            | 101                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1196            | 106                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1201            | 111                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1206            | 116                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |
| 1211            | 121                       | -55  | -65     | 650                                       | 650     |

En la Tabla 10 la frecuencia de propagación, al considerarse solamente el efecto de los espurios del DME, es la de recepción del sistema de MLT (1090MHz). La envolvente de frecuencias del DME (Ilustración 5) será la que pueda variar la cantidad de potencia que le llega al receptor de MLT y éste sólo varía si la frecuencia del canal de MLT estuviera a menos de 2MHz de la frecuencia del canal del DME, y al no darse este hecho la atenuación es la misma para todos los canales y por lo tanto la distancia que es necesaria para separar las estaciones es la misma en todos los casos estudiados. Es necesario hacer ver que la Ilustración 5 tan sólo indica valores de atenuación de la señal cuando la frecuencia difiere 2MHz de la frecuencia central, extrapolándose dicho valor para el resto de frecuencias, situándose siempre en el caso más conservativo.



*d. Potencia de las interrogaciones del sistema de multilateración en el equipo de tierra DME*

Se va a determinar la potencia de la señal emitida por el equipo de tierra del sistema de multilateración recibida por el receptor DME/N.

$$S_{MLT}(t) = \sqrt{P} \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S_{P_1P_2P_6}(t - \tau - t_k) \cdot \cos(2\pi \cdot f_{MLT}(t - \tau) + \varphi)$$

**Ecuación 18: Modelo propuesto de la señal recibida por el DME/N desde la estación interrogadora de tierra del sistema de multilateración a la salida de la antena del DME/N**

En el que:

- $S_{P_1P_2P_6}(t) = w\left(\frac{t}{T_1}\right) + w\left(\frac{t - \Delta T_{12}}{T_2}\right) + w\left(\frac{t - \Delta T_{16}}{T_6}\right) \cdot M(t - \Delta T_{16})$ .
- $P_R$  es el pico de potencia recibida de la estación de multilateración en tierra, expresada en W. Se considera para dicho análisis que este valor es 1200W.
- $f_{MLT}$  es la frecuencia de portadora de la señal de multilateración. Se considerará que este valor es 1030MHz.
- $w$  es la ventana de cada pulso.
- $T_1$  es la duración del pulso  $P_1$ . En el que dicho valor es 0.8μs.
- $T_2$  es la duración del pulso  $P_2$ . En el que dicho valor es 0.8μs.
- $T_6$  es la duración del pulso  $P_6$ . En el que dicho valor es 16.25μs.
- $\Delta T_{12}$  es el tiempo de separación entre  $P_1$  y  $P_2$ . Considerándose igual a 1.2μs.
- $\Delta T_{26}$  es el tiempo de separación entre  $P_2$  y  $P_6$ . Considerándose igual a 0.7μs.
- $\tau$  es el retraso de propagación entre el respondedor activo de la estación de multilateración en tierra y el receptor del DME.
- $M(t)$  es la señal de modulación del chip  $P_6$ .
- $t_k$  es el tiempo de transmisión de cada interrogación.
- $\varphi$  es el desfase inicial de la portadora del MLT.

El ciclo de trabajo de la estación activa de multilateración en tierra se establece que sea superior al 4% considerando todas las aeronaves. La duración total  $P_1P_2P_6$  es de  $0.8+0.8+16.25=17.85\mu s$ , el numero  $NP_1P_2P_6$  de pulsos  $P_1P_2P_6$  por segundo es tal que  $NP_1P_2P_6 \cdot 17.85e-6 = 0.04$ , ó  $NP_1P_2P_6 = 2241$   $P_1P_2P_6$  pulsos por segundo.

Puede verse que la  $P_R$  puede modelarse dependiendo de la potencia de transmisión, del diagrama de transmisión y recepción de la antena, la altura de la antena de transmisión sobre el terreno, la altura de la antena de recepción sobre el terreno, la distancia entre las dos antenas. Asumiendo como se ha mencionado ya anteriormente que la distancia entre antenas es tal que:

$$d \geq \frac{2D_T^2}{\lambda} + \frac{2D_R^2}{\lambda}$$

En el que:

- $D_T$  es el tamaño de la esfera más pequeña incluyendo la antena del transmisor.
- $D_R$  es el tamaño de la esfera más pequeña incluyendo la antena del receptor.
- $\lambda$  es la longitud de onda de la señal de portadora.

A continuación, se realizará el estudio de la potencia de la señal enviada por el equipo de tierra de MLT que llegaría al receptor del equipo de tierra del equipo DME. Para lo cual se representará la potencia disponible en el receptor en función de la distancia mediante la Ley de Friis que dice lo siguiente:

$$p_{dR} = A_{eR} \cdot \Phi_i = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot g_R \cdot \frac{p_{eT} \cdot g_T}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

**Ecuación 19: Fórmula de Friis**

Siendo:

- $\Phi_i$ : Densidad de potencia producida por la antena transmisora en el lugar que ocupa la receptora.
- $\lambda$ : Longitud de onda.
- $g_R$ : Ganancia del receptor.
- $g_T$ : Ganancia del transmisor.
- $p_{eT}$ : Potencia entregada transmitida.

Para el análisis de la potencia disponible en el receptor se ha utilizado una ganancia del transmisor (equipo de tierra del sistema de multilateración) de 7,5dBi siendo este un valor intermedio de los posibles que esta puede tomar (véase 1.3.2.2) y una ganancia del receptor (equipo de tierra DME) 8dBi, incluyendo además 2dB de pérdidas de señal y 2dB de pérdidas en los cables (véase 1.3.1.1). Analizándose para 1030MHz debido a que esta es la frecuencia de interrogación de las estaciones de multilateración en tierra. En cuanto a la potencia de transmisión, como ya se mencionó con anterioridad, se considerará de 1200W (1.3.2.2).

En lo que respecta al análisis de la potencia disponible en el receptor con la consideración de campo corregido, se ha utilizado el modelo explicado en el apartado 2.1.1.4.3, según el cual se ha llegado a la Ecuación 15 definida en el apartado anterior. En este estudio se ha establecido una altura de antena DME de 3,5m y de 3m para la antena del sistema de multilateración.





Como se puede observar en la Ilustración 31 el valor de la potencia recibida en el receptor del equipo DME de tierra varía desde -15,2dBm (con campo corregido) y -10,4dBm (espacio libre) a 500m, hasta -55,2dBm (con campo corregido) y -30,4dBm (espacio libre) a 5000m. Dichos valores están por encima de los niveles de sensibilidad de -91dBm (DME/N en ruta) y -81dBm (DME/N Terminal) (véase 1.3.1.2).

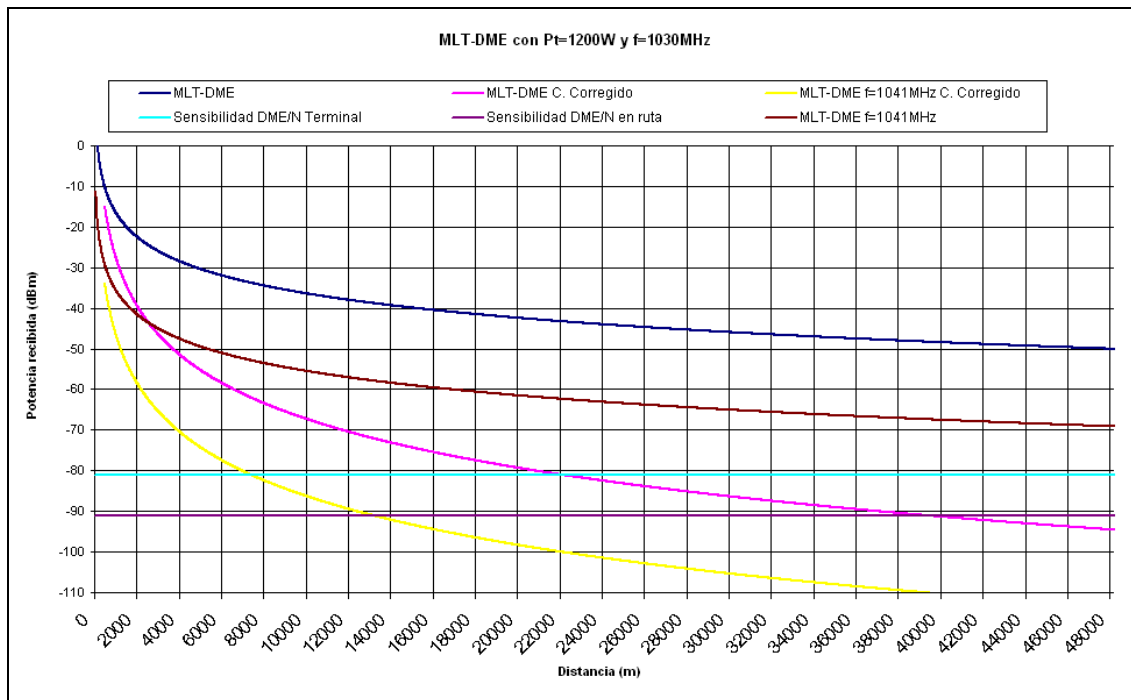


Ilustración 31: Potencia disponible en el receptor del DME, con  $P_t=1200W$ ,  $f=1030MHz$ ,  $h_{DME}=3,5m$ ,  $h_{MLT}=3m$

Sin embargo, se necesita incluir las capacidades de filtrado del receptor de la estación de tierra del DME. Las transmisiones realizadas por las estaciones de multilateración en tierra se realizan a una frecuencia de portadora de **1030MHz** y aunque los canales permitidos para las interrogaciones del DME están en una banda de frecuencias de 1025-1150MHz, (Véase 1.3.1.2 y 1.3.2.2) la tabla A de la referencia [6] especifica que se pueden utilizar los canales de frecuencias comprendidas entre 1025MHz y 1040MHz, con permiso como alternativa secundaria. La razón fundamental de reservar esos canales, es proporcionar protección al SSR. Sin embargo, la frecuencia de interrogación más cercana es **1041MHz**, que está 11Hz sobre la frecuencia de transmisión del sistema de tierra de multilateración de 1030MHz.

Como el espectro del sistema de multilateración es muy grande (véase Ilustración 14, Ilustración 15, Ilustración 16), por lo tanto, habrá que tener en cuenta todos los elementos de la estación de tierra del DME si se quiere realizar un análisis completo.

Analizando el espectro de frecuencias del sistema transmisor de tierra de multilateración (Ilustración 14) se determina que para una frecuencia situada a 11MHz de la frecuencia de transmisión (1041MHz), la potencia será 19dB inferior a la nominal, por lo tanto, habrá que restar, a los valores mencionados con anterioridad, los 19dB. Resultando que a 500m se dispondrá de -29,5dBm (espacio libre) y -34,2dBm (con campo corregido, con 2dB de pérdidas de señal y 2dB de pérdidas del cable de radiofrecuencia), hasta -49,5dBm (espacio libre) y -74,2dBm (con campo corregido,

con 2dB de pérdidas de señal y 2dB de pérdidas del cable de radiofrecuencia) a 5000m.

Por lo tanto, observando la Ilustración 31 y analizando la curva referente a la potencia disponible en el receptor **corregida por efecto suelo**, con 2dB de pérdidas de señal, 2dB de pérdidas del cable de radiofrecuencia, y teniendo en cuenta los espurios de la señal de interferencia de MLT ( $f=1041\text{MHz}$ ), se tiene que estaría por debajo de la sensibilidad a partir de **7380m** en el caso de DME/N Terminal y a partir de **13120m** en DME/N en ruta. Mientras que si se analiza la curva correspondiente a la potencia disponible en el receptor considerando tan solo la pérdida en el **espacio libre**, se observa que estarían por debajo de la sensibilidad del receptor DME para distancias **mayor a los 48km**.

Tabla 11: Distancias entre antenas de tierra DME- MLT para evitar las interferencias

| $f_{\text{DME}}$<br>(MHz) | $ f_{\text{DME}} - f_{\text{MLT}} $<br>(MHz) | Atenuación<br>envolvente<br>frecuencias MLT<br>(dB) | Distancia Antenas con Campo Corregido (m) |                        |
|---------------------------|--|---|---|------------------------|
|                           |  |   | Receptor DME/N<br>Terminal                | Receptor DME/N en Ruta |
| 1041-<br>1050             | 11   | -19   | 7380                                      | 13120                  |
| 1051-<br>1060             | 21   | -31   | 3700                                      | 6580                   |
| 1061-<br>1070             | 31   | -38   | 2480                                      | 4400                   |
| 1071-<br>1080             | 41   | -43   | 1860                                      | 3300                   |
| 1081-<br>1087             | 51   | -47   | 1480                                      | 2620                   |
|                           |  |   |   |                        |
| 1088-<br>1090             | 58   | -47   | 1480                                      | 2620                   |
| 1091 en<br>adelante       | 63   | -50   | 1240                                      | 2210                   |

En la Tabla 11 se muestran la distancia a la que deberían estar las antenas DME-MLT de tierra para que no se produzcan interferencias en el receptor del DME, utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente con la frecuencia de 1041MHz, analizando la potencia de los espurios que le llegarían al receptor DME según los distintos canales de interrogación del DME, estudiando tan solo con el modelo de propagación de campo corregido por efecto suelo, ya que considerando el modelo de propagación en el espacio libre se ha visto que es necesario separar enormemente las antenas, aunque carece de interés debido a que es un modelo ideal y nunca se tendrán dichas condiciones.

Hay que hacer notar que para la envolvente de frecuencias de las interrogación MLT (Ilustración 14), se ha considerado que cuando la desviación en frecuencia es mayor de 60MHz la atenuación permanece constante valiendo -50dB, de forma que los valores serán los más conservativos.

Analizando la Tabla 11 se observa que como ya se ha comentado, la frecuencia de 1041MHz es la que precisa separar las antenas un mayor número de metros y a medida que la frecuencia del canal de interrogación DME se aleja de los 1030MHz del canal de interrogación MLT, se precisa una menor separación entre antenas.



## 2.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO

A continuación, se realizará un modelo del equipo receptor del DME en tierra que nos permita observar el comportamiento del mismo frente a perturbaciones (ruido, onda continua, interferencias de MLT). A su vez se hará lo propio con el receptor del equipo de MLT en tierra, modelando el comportamiento frente al ruido, onda continua e interferencias del DME.

En ambos casos se estudiarán, para diversos valores de las variables perturbadoras, si es capaz el equipo receptor de detectar las señales provenientes del equipo transmisor.

### 2.2.2.1 Modelo receptor sistema DME de tierra

Se va a proceder inicialmente a la descripción y al análisis del modelo del receptor del DME/N, explicando paso a paso los bloques y las señales obtenidas a la salida de cada uno de ellos.

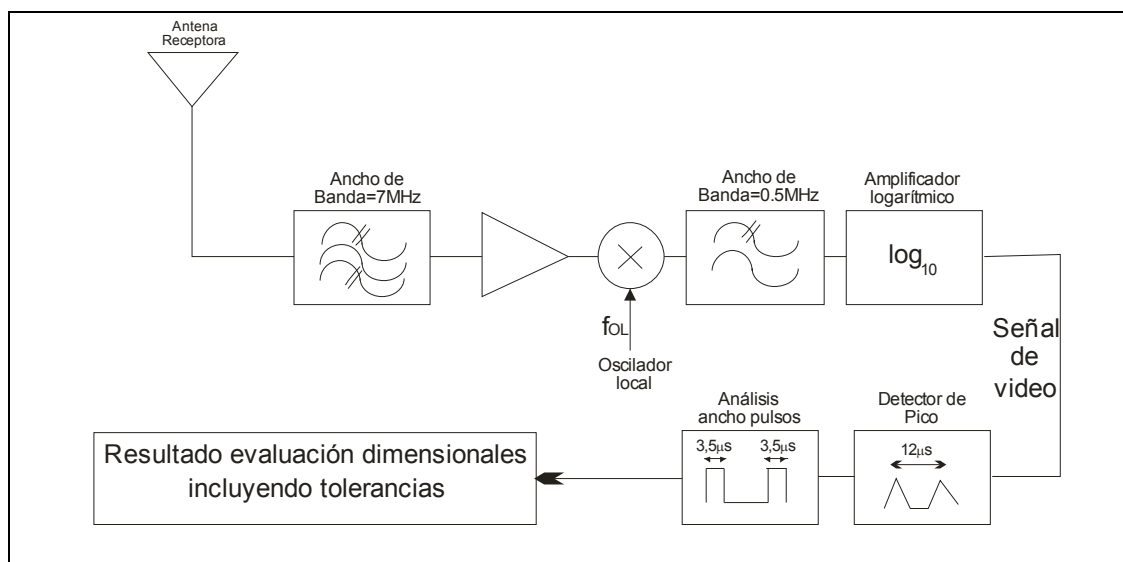


Ilustración 32: Modelo Receptor DME tierra

Como se observa en la Ilustración 32, se dispone de una primera etapa formada por la **antena receptora**, un **filtro paso banda** y un **amplificador**, dicho proceso no ha sido simulado debido a la imposibilidad de realizar el filtro paso banda, ya que las frecuencias de corte estarán en la banda de los GHz. La misión del presente filtro es evitar la inclusión de señales de interferencia de otras zonas del espectro, por ejemplo: limita el ancho de banda del ruido que entra al receptor.

Seguidamente se dispone de un **oscilador local** fijado a la frecuencia del canal de interrogación del equipo de abordaje del DME, para proceder a la multiplicación de la señal que sale de dicho oscilador local con la suma de las señales de entrada al equipo receptor (interrogación DME, interferencia MLT, interferencia CW, ruido blanco Gaussiano), cuya programación en Matlab puede verse en el Anexo2-apartado5.4. El objeto de este paso es adquirir la señal en banda base, es decir, la envolvente de la señal de interrogación, que serán los pulsos de la señal DME que es necesario analizar.

A continuación, se procederá a la descripción de cada una de las señales involucradas en el proceso descrito en el párrafo anterior:

- **Señal DME:** Se ha modelado según la expresión expuesta en 2.2.1.1 en el apartado a (Ecuación 13), la cual nos proporciona los pulsos embarcados a la frecuencia de modulación ( $f_{DME}$ ). El resultado puede observarse en la Ilustración 33 que aparece a continuación.

La potencia de la señal de interrogación se ha puesto como variable de entrada, que el usuario puede especificar según las necesidades de su análisis, debido a que su nivel de señal dependerá de la cercanía de la aeronave a la estación de tierra del DME, éste deberá estar por encima del umbral de sensibilidad del equipo receptor (-81dBm para DME/N terminal y -91dBm para DME/N en ruta). El nivel de la señal ha sido transformado a voltios, ya que una vez que la señal es captada por la antena el tratamiento de esta señal ya no se realiza en vatios. Para esta transformación se ha tenido en cuenta que la impedancia de la antena es de  $50\Omega$ , recuérdese que la ecuación de la potencia es:  $P = V^2/R$ .

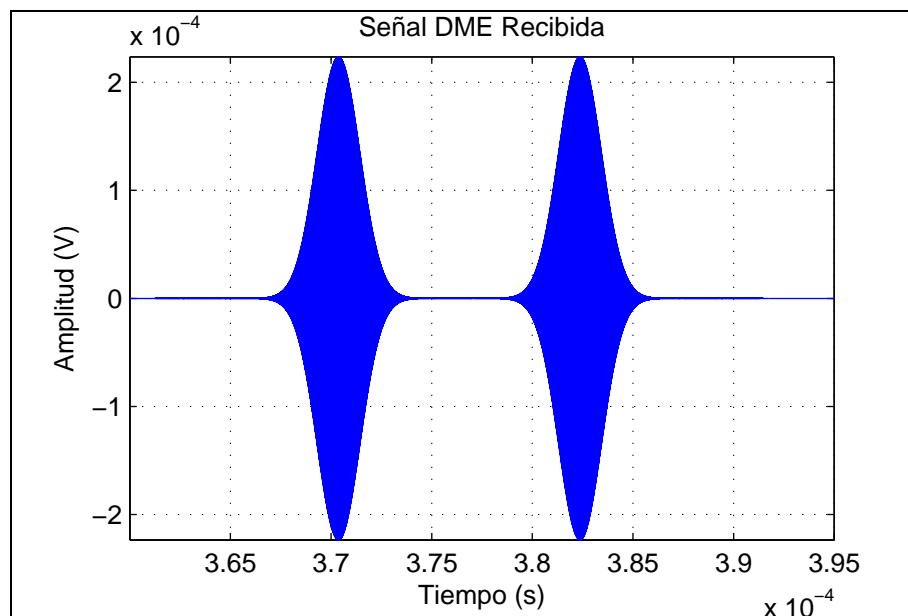


Ilustración 33: Señal DME Recibida

- **Interferencia de Multilateración:** En este caso se ha seguido el modelo descrito en 2.2.1.1 en su apartado b, la Ecuación 12 nos proporciona la expresión para la creación de la señal de MLT formada por los pulsos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_6$  (Véase Ilustración 12). Posteriormente para poder transmitir esta señal al espacio se embarca en una portadora de frecuencia  $f_{MLT}$ , al igual que ocurría en el caso anterior, su representación gráfica puede verse en Ilustración 34.

Como ya se ha estudiado en el apartado destinado a conocer el sistema de MLT, la señal de interrogación tiene la posibilidad de realizar ésta con un  $P_6$  corto o largo. Tendrá mayor interés el caso del pulso  $P_6$  corto ( $16,25\mu s$ ), que el caso del pulso  $P_6$  largo ( $30,25\mu s$ ), debido a que el pulso corto ocupará más ancho de banda produciendo una mayor interferencia, aunque se ha



introducido en la programación la posibilidad de que el usuario pueda seleccionar inicialmente entre ambas.

La potencia de esta señal será calculada según los modelos de propagación en el espacio libre (ver 2.1.1.4.1) y campo compensado (ver 2.1.1.4.3), de forma que el usuario pueda seleccionar entre si quiere realizar el cálculo del caso ideal (espacio libre) o considerando la reflexiones del efecto suelo (campo compensado), así como la distancia a la que se encuentran la antena transmisora (MLT) y la receptora (DME). Al igual que sucedía en el caso del modelo de la señal recibida del DME, se ha transformado la señal de unidades de potencia a unidades de tensión, para la realización de todos los cálculos electrónicos de la señal.

El usuario podrá seleccionar también, si desea calcular la potencia teniendo en cuenta los espurios de la señal o no, esto es debido a que, al igual que ocurría en el análisis estático, es muy interesante conocer el nivel de señal de interferencia a la frecuencia fundamental del equipo receptor, ya que a estas frecuencias la distorsión que pueden producir a la señal podrá ser mayor. Dicho cálculo se ha realizado calculando la potencia según los modelos de espacio libre o campo corregido, descritos anteriormente pero en este caso con la frecuencia del DME y para finalmente a ese valor final restarle el número de dB de potencia que emitirá menos por tratarse de una frecuencia distinta a la frecuencia nominal del equipo transmisor (ver Ilustración 14)

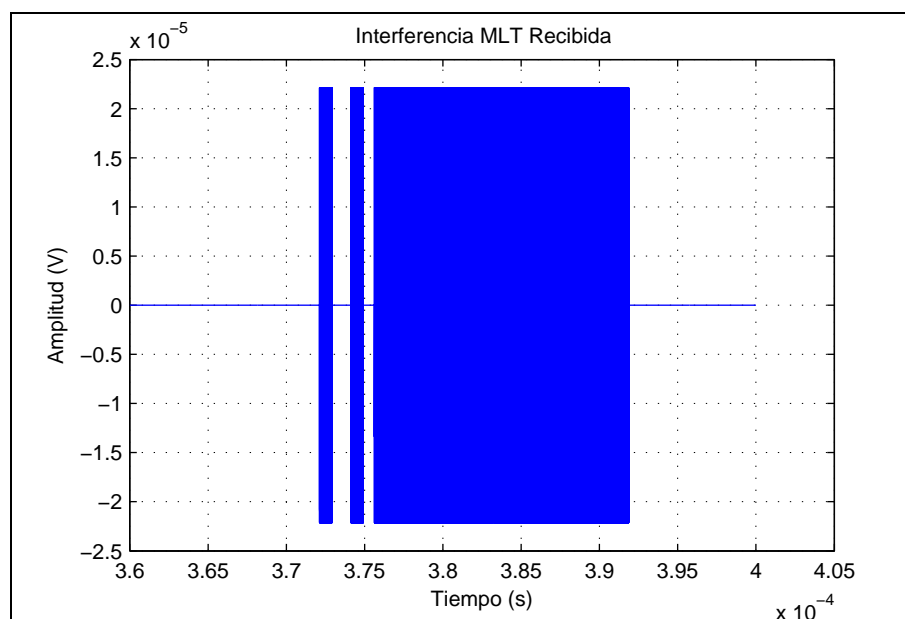
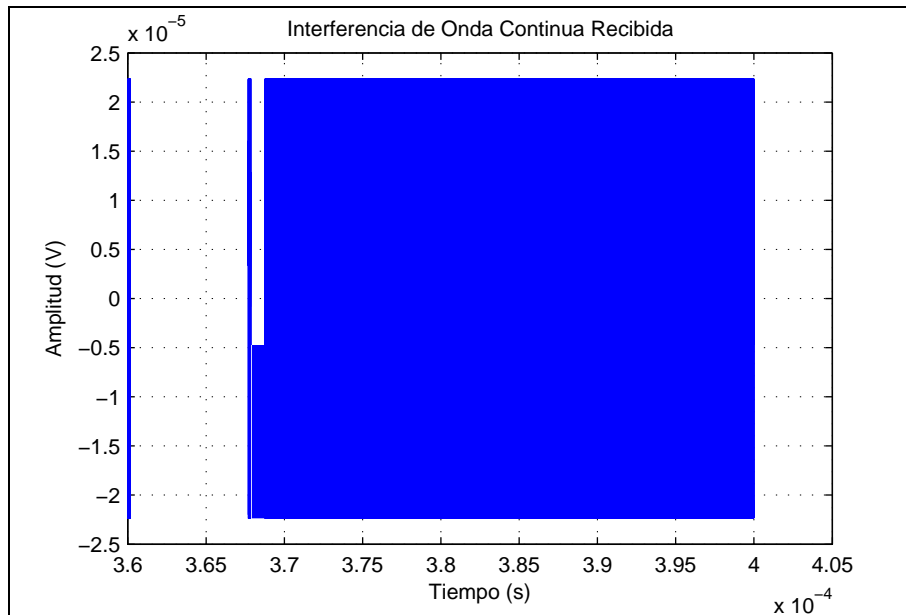
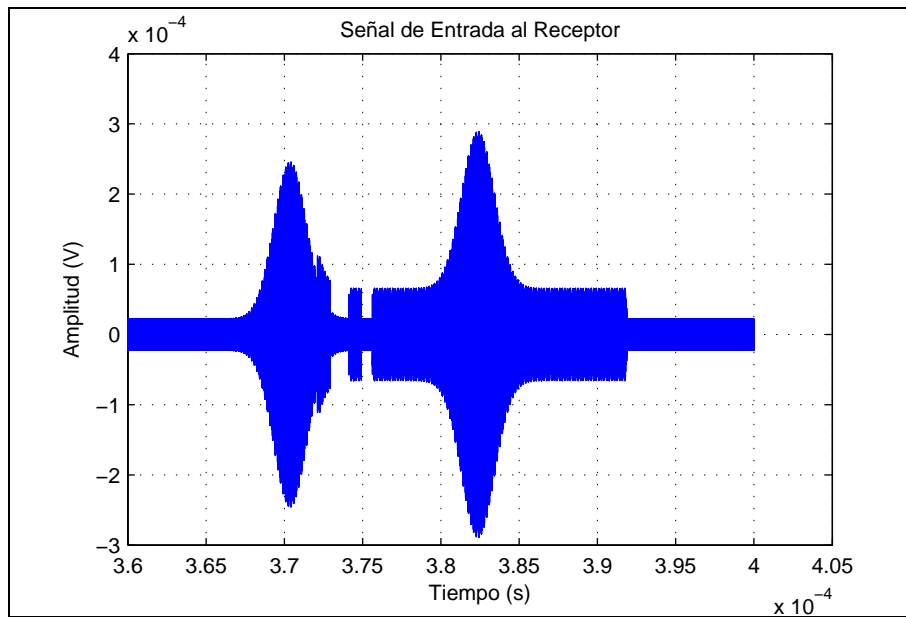


Ilustración 34: Señal Interferencia MLT

- **Interferencia de Onda Continua (CW):** Es interesante apreciar cómo le afecta al equipo la CW ya que éste debe de ser capaz de tolerar potencias del mismo de hasta -71dBm. Para su modelado se ha utilizado una señal cosenoidal cuya frecuencia es introducida por el usuario según el proceso de análisis de interferencias que quiera realizar (véase Ilustración 35, en la que se ha simulado con una frecuencia de 1035MHz, entre 3.6e-4s y 4e-4s de tiempo de simulación). La potencia de esta señal es introducida también por el usuario, según considere oportuno para su análisis.



**Ilustración 35: Señal Interferencia CW**



**Ilustración 36: Señal Resultante Entrada Receptor DME**

Una vez definidas las señales de entrada individualmente, para operar con estas se procede a la suma de las mismas, dando como resultado la señal que le llega al equipo receptor tras la antena (véase Ilustración 36, simulación realizada con  $f_{DME}=1041\text{MHz}$ ,  $-60\text{dBm}$  de señal DME, utilizando campo corregido, considerando espurios de la señal de MLT, con una distancia entre antena MLT y DME=5000m,  $f_{CW}=1035\text{MHz}$  y  $-80\text{dB}$  de señal CW).

Por lo tanto, el espectro de frecuencias de la señal de entrada al receptor (Ilustración 36) tendrá dos componentes principales:  $f_{CW}$  y  $f_{DME}$ . Como se ha comentado anteriormente, para el cálculo de las interferencias es más interesante analizar las mismas para  $f_{DME}=f_{MLT}$  véase Ilustración 37 en el que se observan dos componentes, las correspondientes a la frecuencia de CW a 1035MHz y la correspondiente al DME y a la MLT (1041MHz).

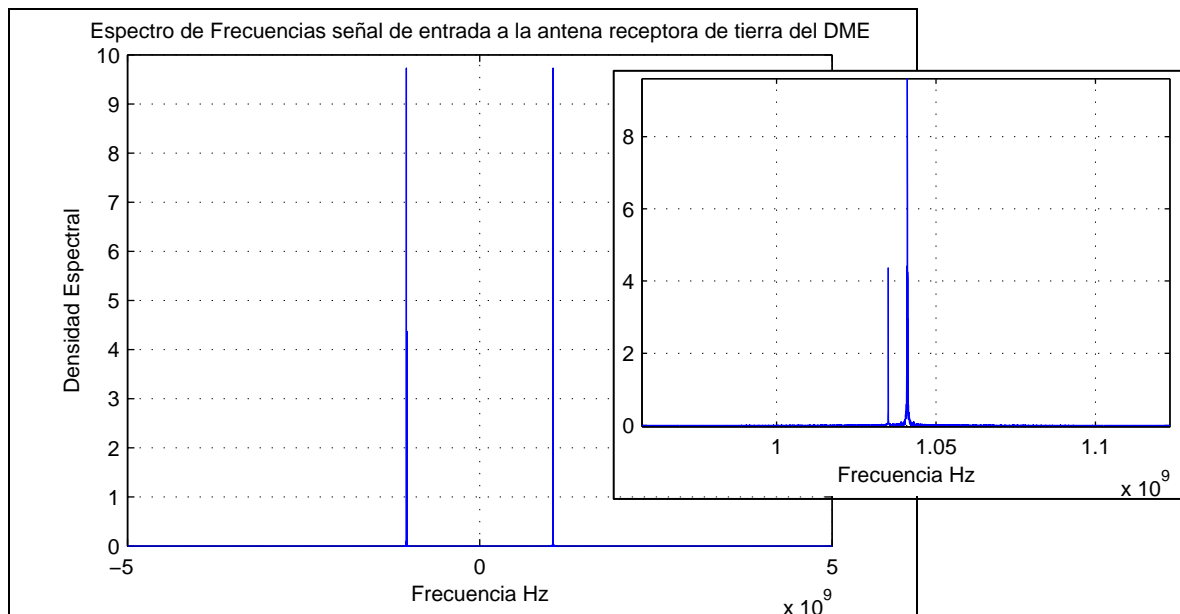
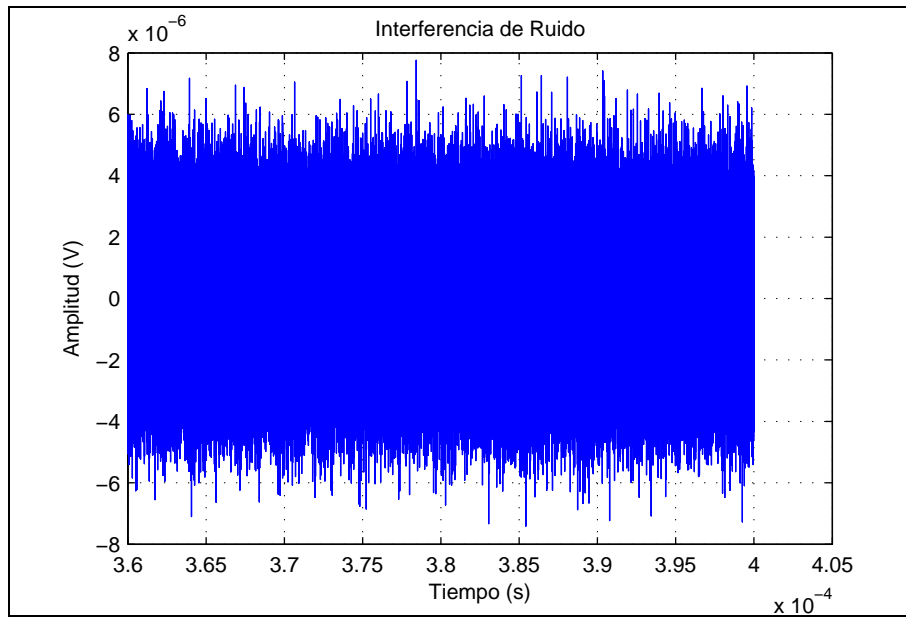


Ilustración 37: Espectro de frecuencias Señal de Entrada

Seguidamente se modela el **Ruido Blanco Gaussiano** que es aquel ruido cuya densidad de probabilidad responde a una distribución normal y en el que sus valores de señal en dos instantes de tiempo diferentes no guardan correlación estadística. Para su modelado se ha dispuesto de la función “WGN [Generate white Gaussian noise]” del programa Matlab. La representación de esta señal se puede observar en la Ilustración 38. Para el cálculo de la potencia de ruido se ha utilizado la expresión perteneciente al ruido térmico, que es el que produce todo cuerpo por encontrarse a una cierta temperatura y que relaciona la potencia con la temperatura y con el ancho de banda:  $P = K \cdot B \cdot T$ , siendo:

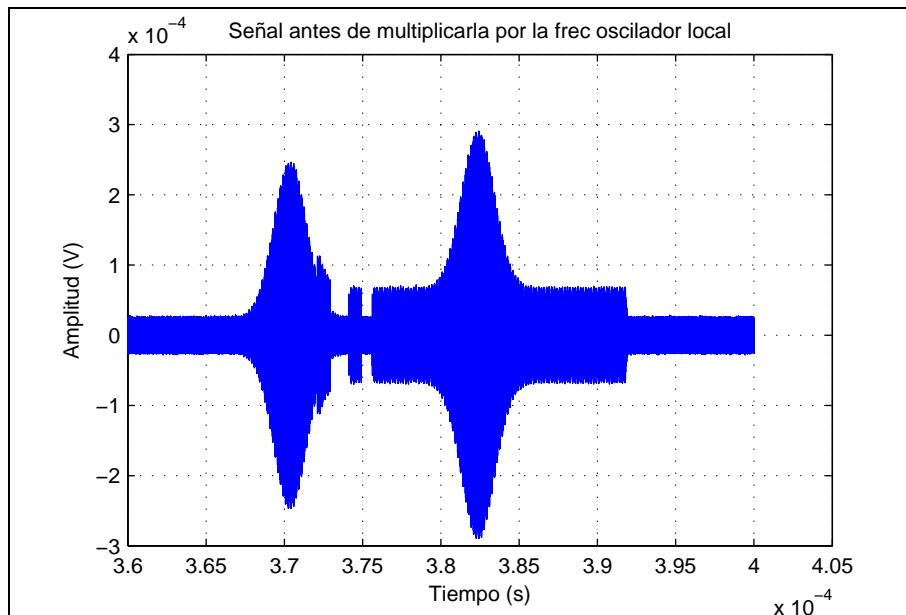
- K la constante de Boltzman ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K).
- B el ancho de banda expresado en Hz, viene impuesto por el ancho de banda del filtro pasa banda, se ha supuesto para este modelo un valor de  $7 \cdot 10^6$  Hz.
- T es la temperatura en K (grados Kelvin), utilizando un valor de la misma de 290K.

Al valor de la potencia de ruido térmico anterior hay que añadir un determinado nivel de figura de ruido, debido al efecto del filtro pasa banda y el amplificador, considerando un valor del mismo para la realización de los cálculos de 3dB.



**Ilustración 38: Señal Ruido Blanco Gaussiano**

Por lo tanto, se obtiene una señal compuesta por la interrogación del DME de abord, las interferencias de MLT, las interferencias de CW y el Ruido Blanco generado por el equipo, que se puede apreciar en la Ilustración 39, como puede observarse es muy semejante a la Ilustración 36 debido a que el nivel de potencia del ruido blanco Gaussiano es muy pequeño en comparación con el resto de señales.



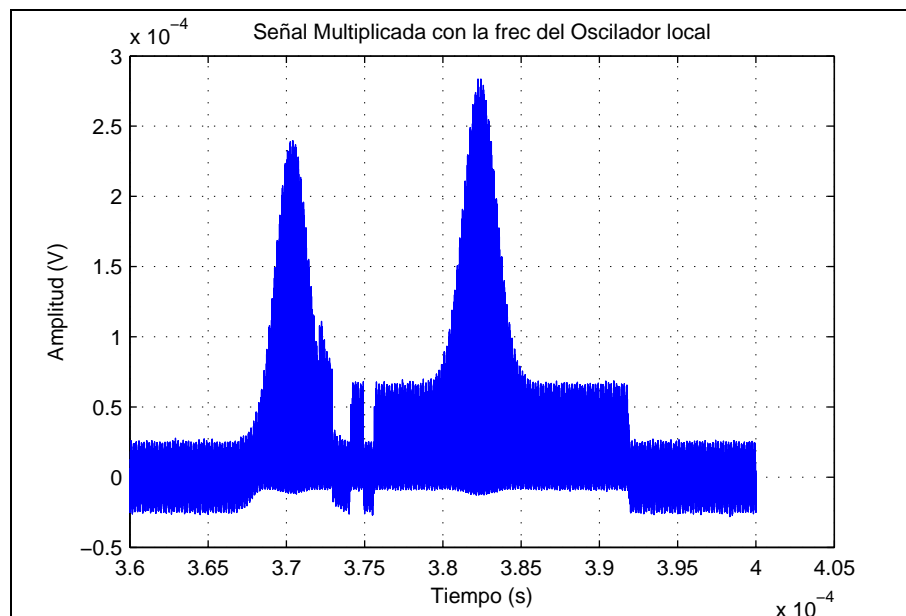
**Ilustración 39: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano**

Una vez obtenido el conjunto de señales involucradas en el proceso de detección se procede a la obtención de los pares de pulsos de la interrogación del DME de abord, para lo cual se procede primeramente a la multiplicación de la señal de entrada, mostrada en la Ilustración 39, un coseno a la frecuencia del canal del DME ( $f_{DME}$ ) (véase programación Anexo1- apartado5.5), para proceder posteriormente al filtrado obteniendo así la envolvente correspondiente a los pares de pulsos de la interrogación





DME. En la Ilustración 40 se tiene la señal resultante tras la multiplicación de ambas señales.



**Ilustración 40: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local**

A continuación, se procederá al desarrollo teórico del espectro de frecuencias de la señal anterior. Con la ayuda de las formulas trigonométricas (Ecuación 20), se obtienen las componentes de portadora de la señal. Analizando la Ecuación 21 se llega a la conclusión de que existen 4 portadoras:

1.  $f=0$ , componente que nos proporcionará la adquisición de los pares de pulsos deseados.
2.  $f=2 \cdot f_{DME}=2082\text{MHz}$ , componente de alta frecuencia que se eliminará tras el filtrado.
3.  $f=f_{CW}+f_{DME}=2076$ , componente a una frecuencia del orden de la  $f_{DME}$ , también será eliminada tras el filtrado.
4.  $f=f_{CW}-f_{DME}=6\text{MHz}$ , componente de baja frecuencia, si fuese menor que la frecuencia de corte del filtro posterior no podrá ser eliminada e interferirá en mayor medida en la posterior detección de los pulsos de la señal DME.

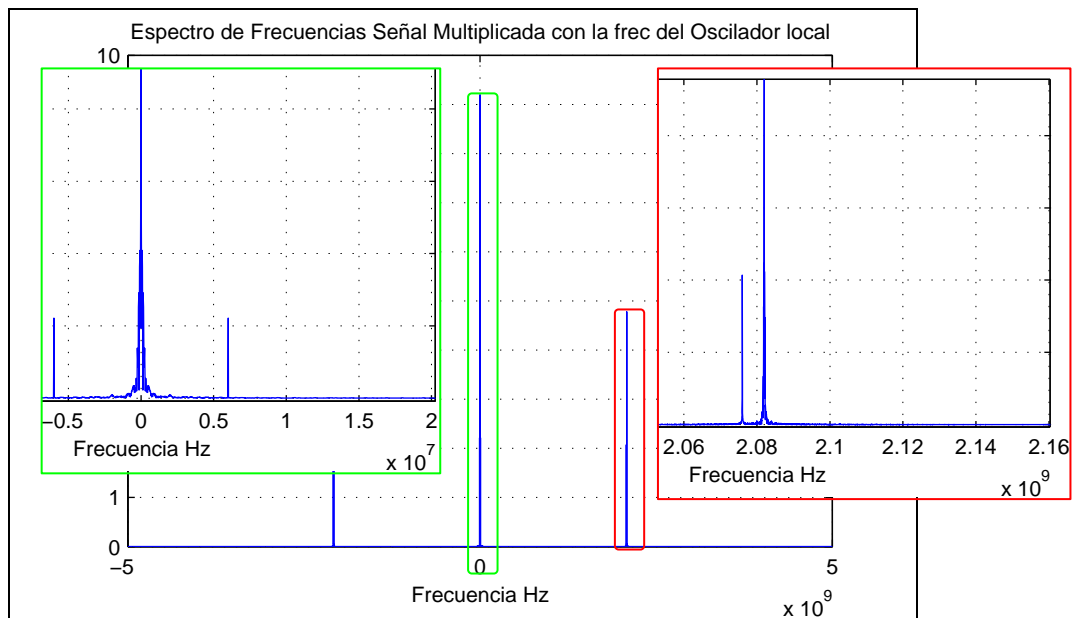
$$\cos(A) \cdot \cos(B) = \frac{1}{2}(\cos(A+B) + \cos(A-B))$$

**Ecuación 20: Producto de dos cosenos**

$$\begin{aligned}
 S &= (\cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME} \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{MLT} \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{CW} \cdot t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{DME}) \cdot t) = \\
 &= \left( \begin{aligned} &\frac{1}{2} (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{DME} + f_{DME}) \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{DME} - f_{DME}) \cdot t)) + \\ &+ \frac{1}{2} (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{MLT} + f_{DME}) \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{MLT} - f_{DME}) \cdot t)) + \\ &+ \frac{1}{2} (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{CW} + f_{DME}) \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{CW} - f_{DME}) \cdot t)) \end{aligned} \right) \quad \begin{matrix} f_{MLT}=f_{DME} \\ = \end{matrix} \\
 &= \left( 1 + (\cos(2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot f_{DME}) \cdot t)) + \frac{1}{2} (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{CW} + f_{DME}) \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{CW} - f_{DME}) \cdot t)) \right)
 \end{aligned}$$

**Ecuación 21: Desarrollo teórico de las portadoras después del multiplicador**

En la Ilustración 41 se aprecia el espectro de frecuencias mencionado anteriormente, en el que las marcadas en rojo son la segunda y la tercera mencionadas anteriormente, las marcadas en verde son la primera y la cuarta.

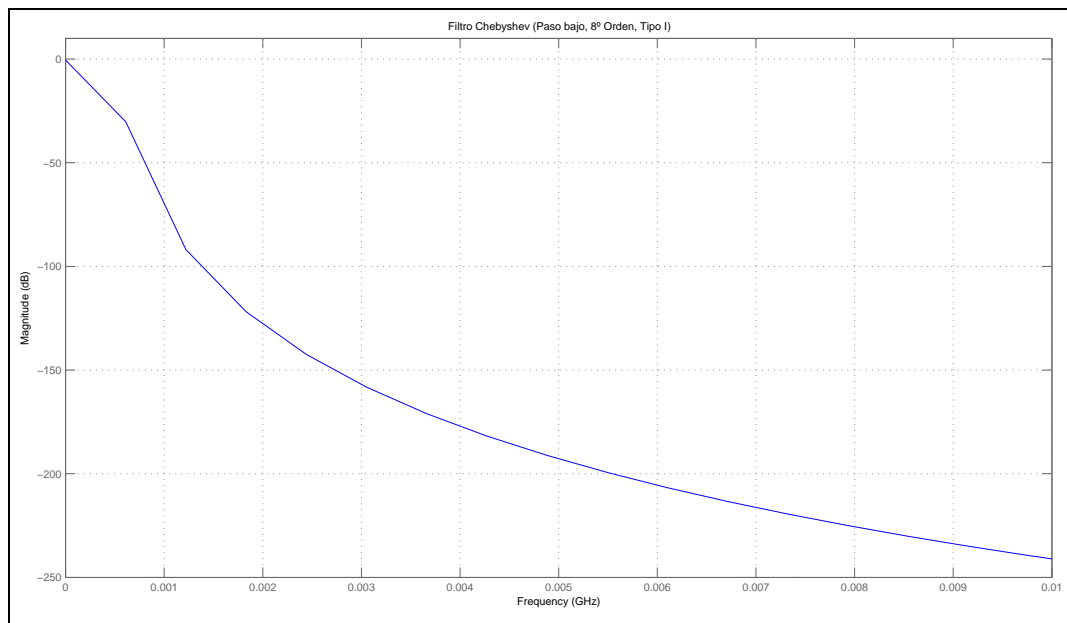


**Ilustración 41: Espectro de Frecuencias Entrada Filtro Receptor DME**

Posteriormente se procede al diseño del **filtro**, y a su aplicación a la señal representada en la Ilustración 40. Para este estudio se ha realizado un filtro de Chebyshev, paso bajo, de 8º orden, tipo I, cuya curva de actuación viene representada en la Ilustración 42.

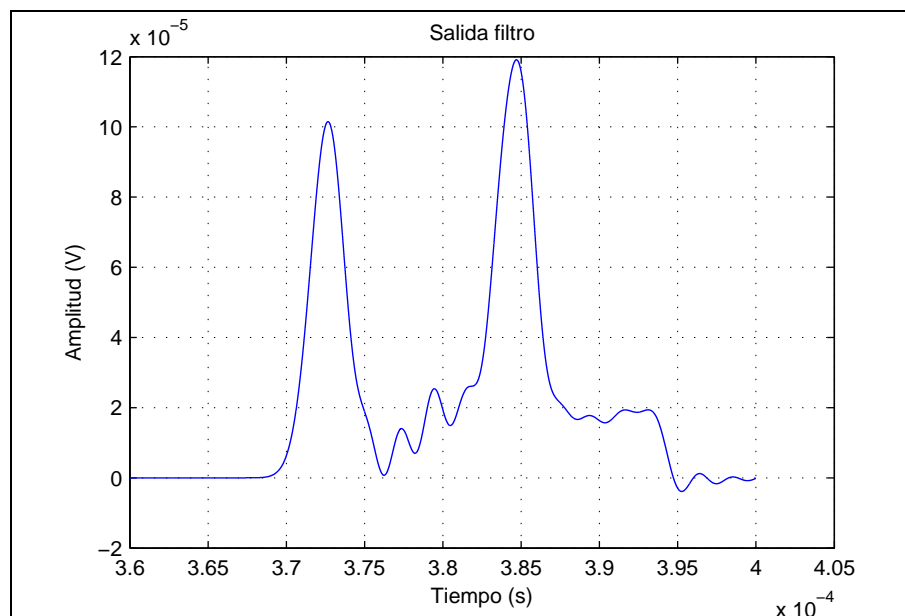


## Capítulo 2: DISEÑO



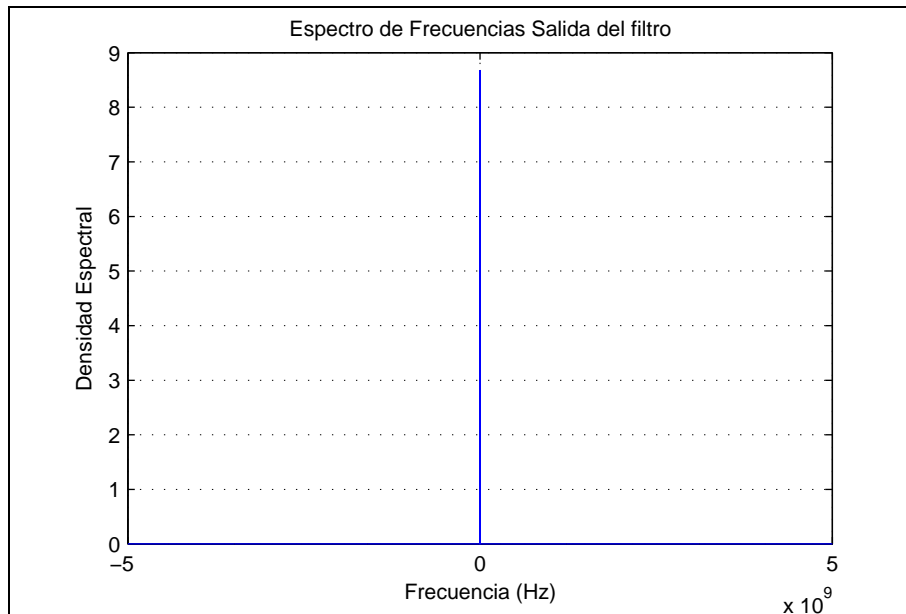
**Ilustración 42: Filtro Paso Bajo Receptor DME**

El presente filtro elimina todas las componentes indeseadas de la señal, obteniendo tan solo el rango de frecuencias perteneciente al canal seleccionado de la señal de interrogación emitida por el equipo de abordaje del DME. La frecuencia de corte del filtro se encuentra a 0.5MHz, ya que el ancho de banda de los canales del DME es de 1MHz, según se ha expuesto en el apartado 1.3.1.2.



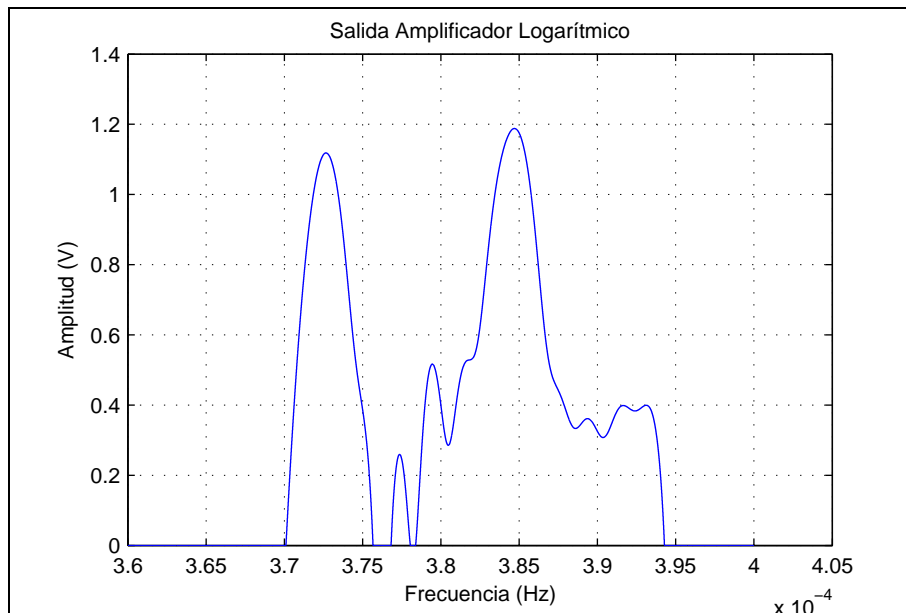
**Ilustración 43: Salida Filtro Receptor DME**

En la imagen anterior se puede apreciar, como era de esperar, la envolvente de la señal, habiéndose eliminado todas las componentes de frecuencia (ver Ilustración 44). Por lo tanto ya se estaría capacitado para el análisis de las características de los pulsos, pero antes de eso se le hace pasar a la señal por una un amplificador logarítmico debido a la gran diferencia que puede existir entre la potencia de una interrogación cuando la aeronave está situada en las cercanías a la estación receptora y una interrogación realizada en los límites de la cobertura del equipo.



**Ilustración 44: Espectro de Frecuencias Salida Filtro Receptor DME**

Por lo tanto, el amplificador logarítmico amplifica las señales más débiles y atenúa las más fuertes. Para lo cual se hace el logaritmo decimal de la señal, a su vez para conseguir que el nivel de esta señal no se vea modificado por la cantidad de señal que le llega al receptor, se normaliza la señal previa al amplificador logarítmico con su valor máximo. El cero de este amplificador es ajustado, multiplicando el interior del logaritmo por una constante, de manera que introduciendo una interrogación DME sin interferencia alguna, se disponga de un par de pulsos separados  $12\mu\text{s}$ , con un ancho en el 50% de su tensión máxima de  $3,5\mu\text{s}$ , según se establece en la sección 1.3.1.2.



**Ilustración 45: Salida Amplificador Logarítmico**

Después del amplificador logarítmico (véase Ilustración 45) se procede a la detección de los pares de pulsos (detector de pico) para lo cual se realiza la derivada de la señal anterior (obsérvese Ilustración 46), y se analizan sus valores nulos, para ser más



concretos los valores nulos en los que la señal pasa de tener una amplitud negativa a positiva, ya que este es el que va a representar los valores máximos de los pulsos, en el ejemplo propuesto se han encontrado 7 máximos en los siguientes valores:

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1) $0,3727 \cdot 10^{-3} \text{s}$ | 5) $0,3894 \cdot 10^{-3} \text{s}$ |
| 2) $0,3774 \cdot 10^{-3} \text{s}$ | 6) $0,3917 \cdot 10^{-3} \text{s}$ |
| 3) $0,3795 \cdot 10^{-3} \text{s}$ | 7) $0,3931 \cdot 10^{-3} \text{s}$ |
| 4) $0,3847 \cdot 10^{-3} \text{s}$ |                                    |

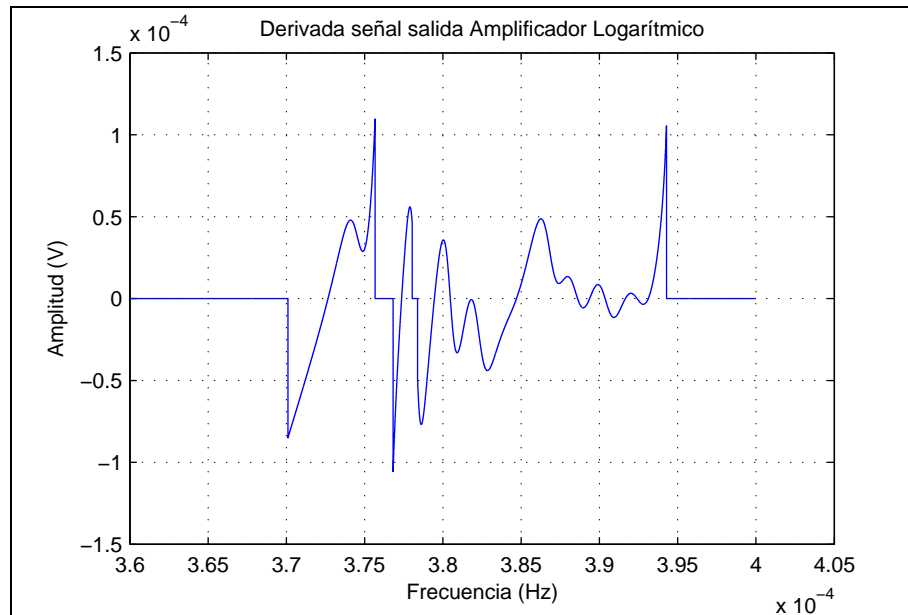
Posteriormente, se calcula el tiempo entre cada uno de los puntos anteriormente obtenidos, comprobando si alguno de ellos está entre  $12 \pm 0,1 \mu\text{s}$ . En el ejemplo propuesto se tienen dos pares de pulsos que se encuentran entre dichos valores:

- 1) El situado a  $0,3727 \cdot 10^{-3} \text{s}$  con el situado a  $0,3847 \cdot 10^{-3} \text{s}$ .
- 2) El situado en  $0,3774 \cdot 10^{-3} \text{s}$  con el de  $0,3894 \cdot 10^{-3} \text{s}$ .

Seguidamente se desechan los valores que, aún estando dentro de tolerancias su separación, el valor de la señal en ese punto es inferior al 50% del máximo de la señal, ya que todos los valores que cumplen con las condiciones anteriormente expuestas se deben a interferencias y no a posibles pares de pulsos DME. En el ejemplo propuesto los valores que tiene la señal (Ilustración 45) en los puntos del párrafo anterior son los siguientes:

- 1) El primer pulso tiene un valor de 1,1184V, mientras que el segundo de 1,1880V.
- 2) El primer pulso tiene un valor de 0.2602V y el segundo de 0.3612.

Observando, por tanto, que tan sólo el primer caso cumple con las condiciones expuestas previamente, siendo el valor de los pares de pulsos de la señal DME que se desea detectar, ya que el segundo caso es inferior al 50% del valor máximo de la señal, que como puede apreciarse es el correspondiente a 1.1880V.



**Ilustración 46: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico**

Finalmente, se mide el ancho de los pulsos, comprobando que el valor en el 50% de la tensión máxima del pulso, su separación sea de  $3,5 \pm 0,5 \mu s$ , como indica la norma. Apareciendo en el *Command Window* del programa Matlab, el resultado de la simulación, como puede verse en la Ilustración 47.

Primeramente, se expresa lo referente a la separación entre pulsos, después al primer pulso y finalmente al segundo pulso, indicando si está dentro o fuera de tolerancias en cada caso, así como el valor numérico de cada uno, siempre y cuando el ancho de los pulsos en el 50% de su amplitud máxima sea inferior a  $4 \mu s$  de lo contrario, no aparecerá valor numérico alguno, simplemente un aviso diciendo que se encuentra fuera de tolerancias.

```
20/07/09 19:35 MATLAB Command Window 1 of 1
Separacion_entre_pulsos =
Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias
Separacion_Entre_Pulsos =
1.2039e-005
ans =

Ancho_Primer_pulso =
Ancho del PRIMER pulso DENTRO de tolerancias
a2 =
3.5981e-006
ans =

Ancho_Segundo_pulso =
Ancho del SEGUNDO pulso FUERA de tolerancias
ans =
```

**Ilustración 47: Matlab *Command Window* Ejemplo simulación**



A continuación, se analizarán diferentes casos con el objetivo de ver cómo le afectan al equipo receptor DME de tierra las interferencias, principalmente en lo referente a las estaciones de MLT.

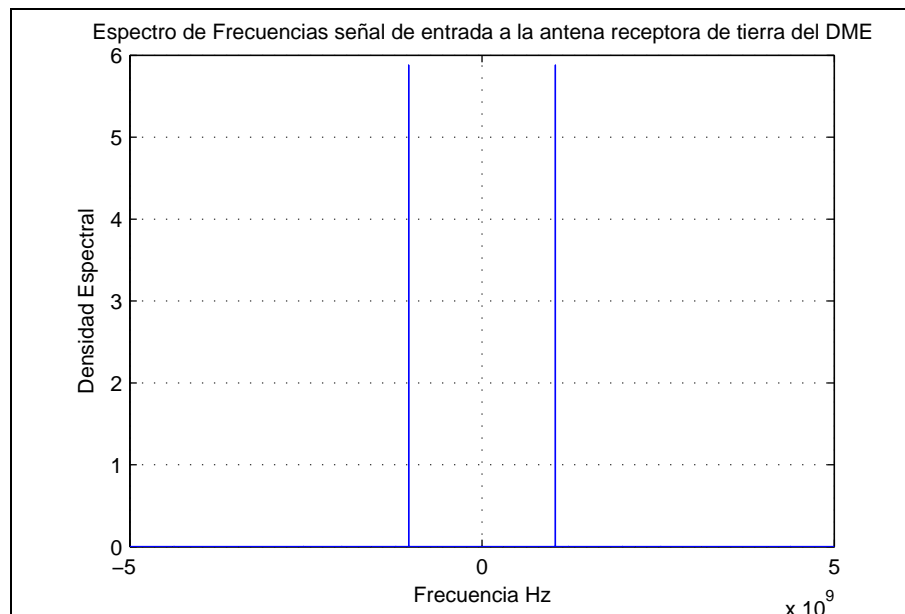
### 2.2. 2.1.1 Simulación con Ruido

Para esta simulación se ha introducido las variables de entrada que se muestran en la Ilustración 48, en la que se puede observar una captura de la ventana *Command Window* del programa Matlab, en la que se especifican las frecuencias de los sistemas DME y MLT, la selección de los distintos tipos de interferencia y el nivel de la señal de interrogación DME que le llega al receptor.

```
21/07/09 10:03 MATLAB Command Window 1 of 1
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1030e6Hz): 1030e6
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (1025e6-1040e6{Reservados},1041e6-1087e6Hz y
1088e6-1150e6Hz): 1041e6
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 2
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de MLT y 2 si es que no: 2
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 1
Introduzca la ganancia de la señal recibida del DME en dBm (Señal recibida de la
aeronave): -60
```

**Ilustración 48: Command Window Entrada Datos**

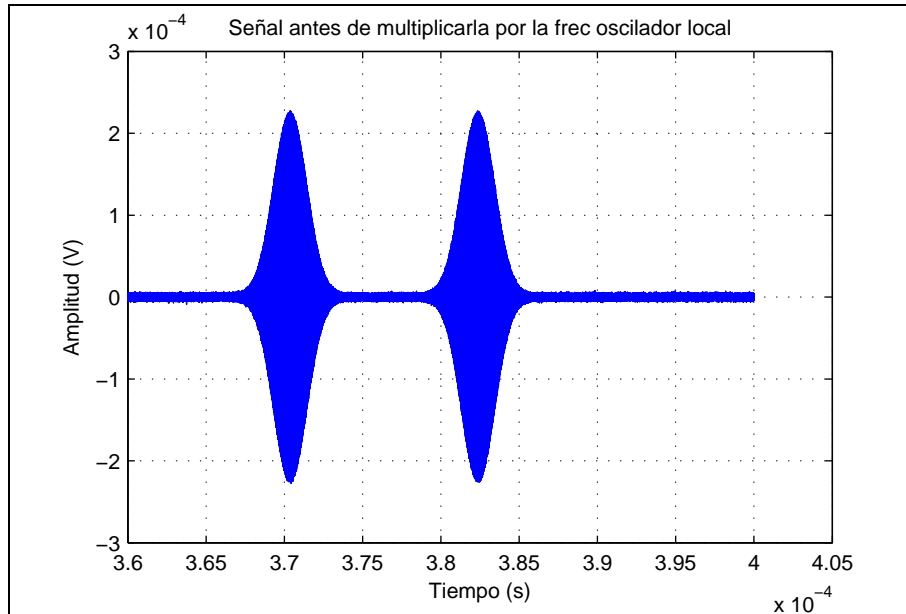
En este apartado se considerará tan sólo como interferencia el ruido, seleccionando un nivel de señal de interrogación DME de -60dBm, por lo tanto la señal de entrada al receptor será solamente la interrogación DME (véase Ilustración 33). Por lo que su espectro de frecuencias dispondrá solamente de una componente a la frecuencia de la interrogación DME (utilizando para esta simulación el canal correspondiente a los 1041MHz), este hecho puede observarse claramente en la Ilustración 49.



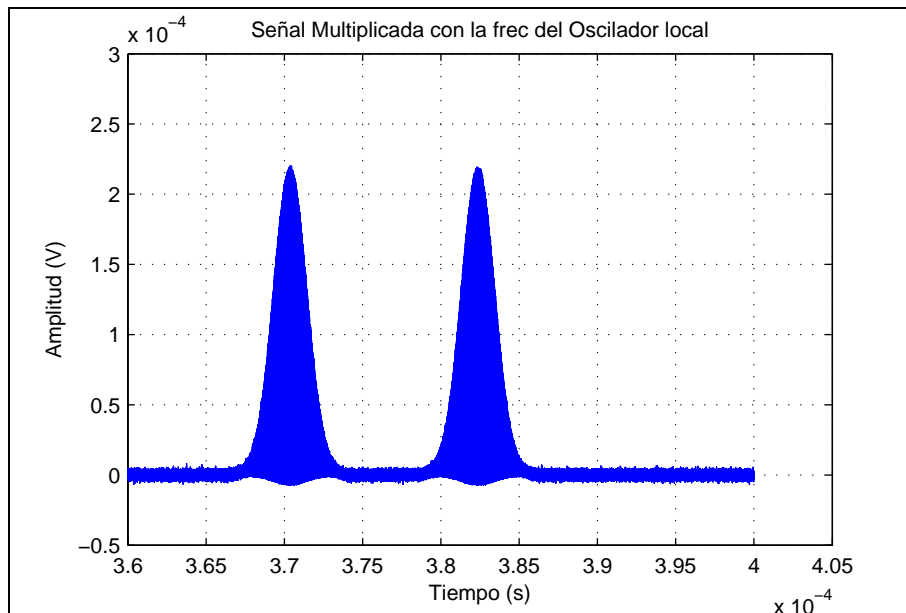
**Ilustración 49: Espectro de frecuencias Señal entrada al receptor (Simulación con Ruido)**

A continuación, la señal de entrada se suma con el ruido ( $P = K \cdot B \cdot T$ ) producido en esta etapa del receptor. La representación del ruido es la misma que la que aparece en la Ilustración 38, ya que todos los valores de los parámetros involucrados en el

cálculo son idénticos. La representación gráfica de la señal sumada con el ruido se observa en la Ilustración 50, variando ligeramente en comparación con la figura que muestra los pulsos DME, diferenciándose sobre todo en las zonas donde la señal DME es cero, apreciándose el valor y el efecto del ruido.



**Ilustración 50: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano (Simulación con Ruido)**



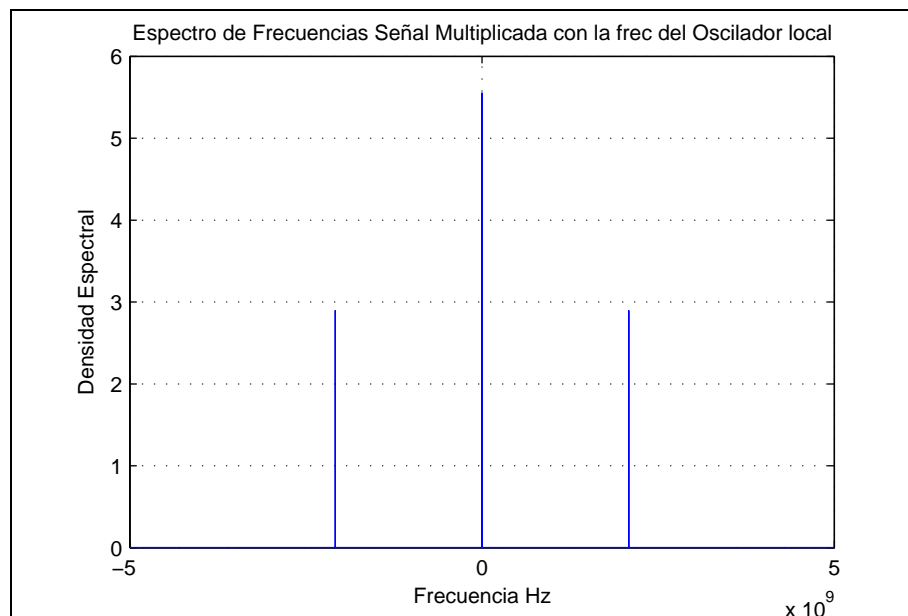
**Ilustración 51: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido)**

Seguidamente es multiplicada por una señal cosenoidal a la frecuencia del oscilador local ( $f_{DME}$ ), su representación puede verse en la Ilustración 51, de esta manera se consigue crear una componente de frecuencia en la banda base, facilitando el filtrado y por lo tanto la eliminación de todas aquellas componentes de frecuencia no deseadas.





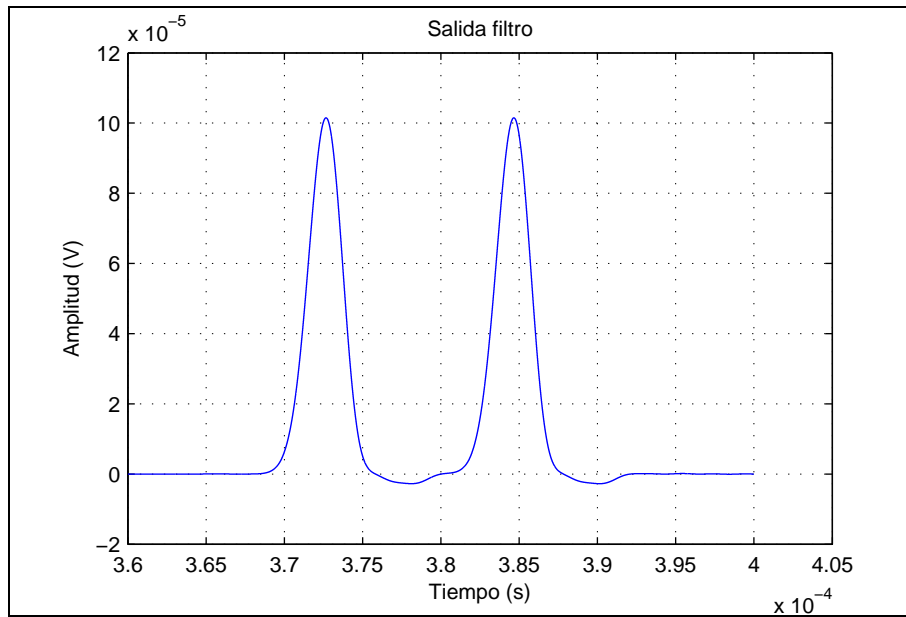
Para entender el resultado de la simulación del espectro de la señal anterior hay que volver a hacer uso de la Ecuación 20, la cual nos dará como resultado que dicho espectro está compuesto por dos componentes: una de frecuencia cero y la otra al doble de la frecuencia del DME, como puede corroborar su representación gráfica expuesta en la Ilustración 52. El ruido afectaría a todo el espectro situado a 7MHz de la frecuencia del DME, aunque debido a su bajo nivel no se puede apreciar en la figura.



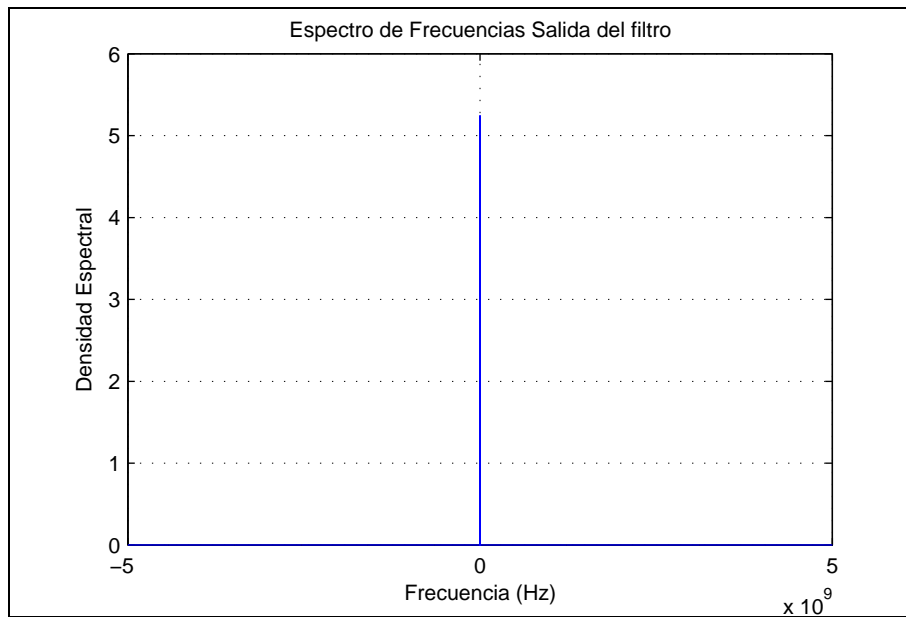
**Ilustración 52: Espectro de frecuencias Señal previa al filtrado (Simulación con Ruido)**

Una vez multiplicada la señal, se procede a su filtrado para obtener la envolvente de los pulsos de la interrogación DME. La curva representativa de la actuación del filtro paso bajo puede verse en la Ilustración 42, dando como resultado la señal que aparece en la Ilustración 53.

El espectro de frecuencias por lo tanto tendrá una sola componente, como puede verse en la Ilustración 54. Por lo tanto ya se tendría la señal de video y se estaría preparado para la detección y comprobación, aunque como ya se explicó anteriormente es necesario pasarla previamente por un amplificador logarítmico, de forma que equilibre los diferentes niveles de potencia que pueden tener las interrogaciones DME que le llegan.



**Ilustración 53: Salida Filtro (Simulación con Ruido)**



**Ilustración 54: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido)**

En la Ilustración 55 se tiene la señal de salida del amplificador logarítmico, en la que se observa que el ruido no ha distorsionado, visualmente hablando, los pares de pulsos de la interrogación.

Luego se realiza la derivada de la señal de salida del amplificador logarítmico (ver Ilustración 56), con objeto de poder detectar los máximos de la señal anterior y así poder determinar si existen pares de pulsos que se encuentren a  $12 \pm 0,1 \mu s$ . Los valores de los máximos de la señal detectados por el programa se encuentran en:

1)  $3,7266 \cdot 10^{-4} s$ .

2)  $3,8466 \cdot 10^{-4} s$ .

En dichos puntos la señal posee los siguientes valores como puede observarse en la figura siguiente:



1) 1.1880V.

2) 1.1879V.

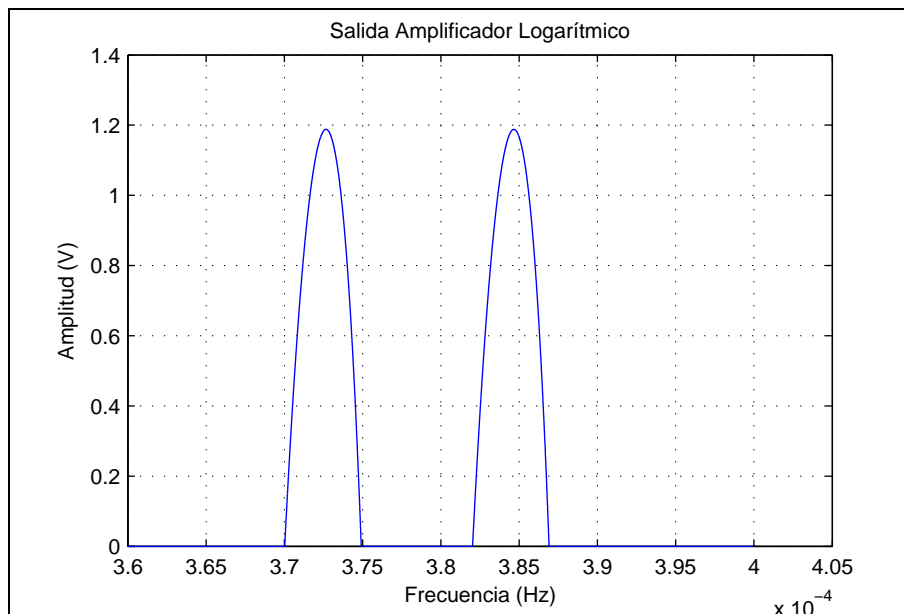


Ilustración 55: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido)

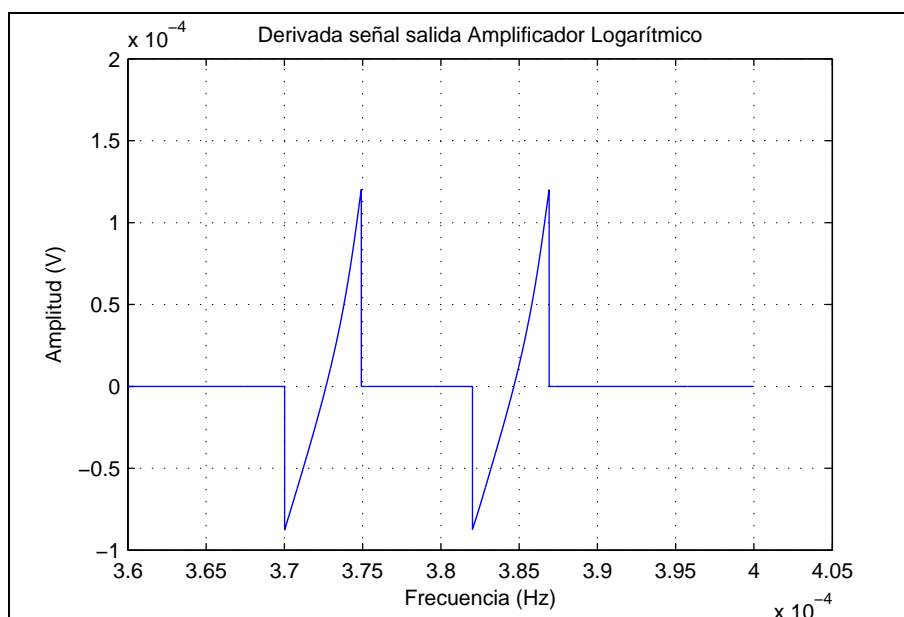


Ilustración 56: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido)

Finalmente, como se ha explicado con anterioridad se comprueba si el ancho de los pulsos está dentro de tolerancias ( $3,5 \pm 0,5 \mu s$ ) midiéndolo donde la tensión de los pulsos corresponde con el 50% de su valor máximo.

En la Ilustración 57 aparece el resultado de la simulación, como se puede apreciar la separación entre pulsos se encuentra dentro de tolerancias a  $12 \mu s$  exactamente, el ancho del primer pulso también está dentro de tolerancias a  $3,4995 \mu s$  y al igual que el segundo pulso cuyo ancho es de  $3,5003 \mu s$ . Concluyendo por lo tanto que el **Ruido Blanco Gaussiano no afecta** al proceso de detección de las interrogaciones DME.

```
20/07/09 20:28 MATLAB Command Window 1 of 1
Separacion_entre_pulsos =
Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias
Separacion_Entre_Pulsos =
1.2000e-005
ans =

Ancho_Primer_pulso =
Ancho del PRIMER pulso DENTRO de tolerancias
a2 =
3.4995e-006
ans =

Ancho_Segundo_pulso =
Ancho del SEGUNDO pulso DENTRO de tolerancias
a3 =
3.5003e-006
ans =
```

**Ilustración 57: Matlab Command Window Simulación Con Ruido**

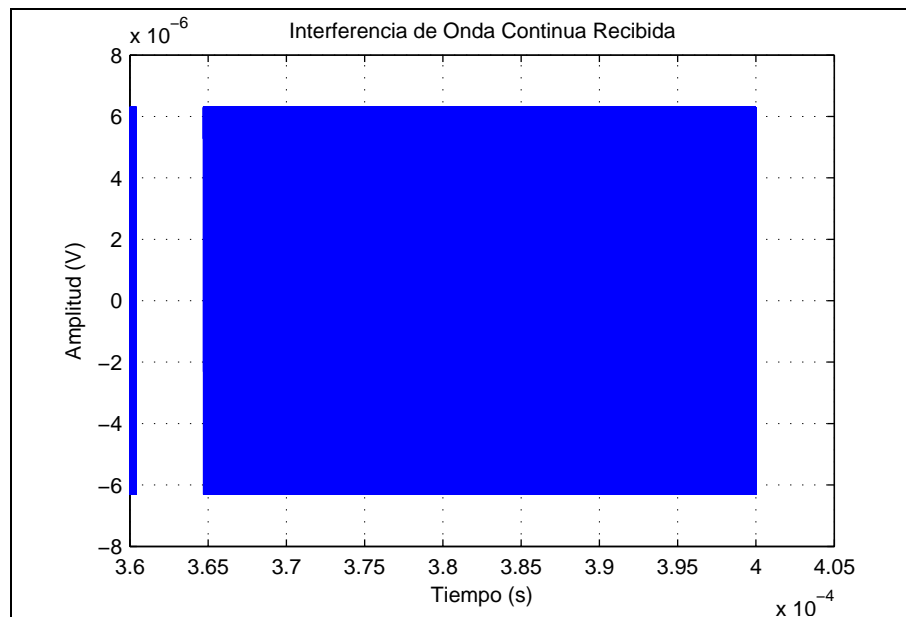
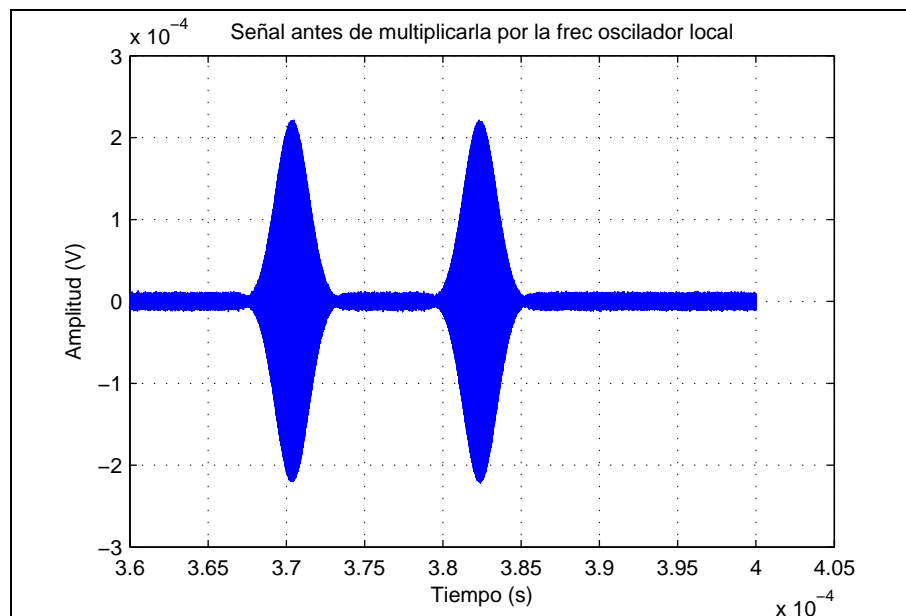
### *2.2.2.1.2 Simulación con Ruido, con interferencia de onda continua (CW) de -91dBm y a la frecuencia del canal del DME (1041MHz)*

En este caso se han introducido las variables de entrada que se muestran en la Ilustración 58, dichos datos han sido empleados en la realización de la presente simulación. Se especifican las frecuencias de los sistemas DME y MLT, la selección de los distintos tipos de interferencia, el nivel de la señal de interrogación DME que le llega al receptor, frecuencia de CW y su nivel de potencia.

```
MATLAB Command Window 1 of 1
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1030e6Hz): 1030e6
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (1025e6-1040e6{Reservados},1041e6-1087e6Hz y
1088e6-1150e6Hz): 1041e6
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 1
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de MLT y 2 si es que no: 2
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 1
Introduzca la ganancia de la señal recibida del DME en dBm (Señal recibida de la
aeronave): -60
Introduzca la frecuencia de CW en Hz: 1041e6
Introduzca la ganancia de la señal recibida de CW en dBm: -91
```

**Ilustración 58: Introducción Datos (Simulación con Ruido y CW)**

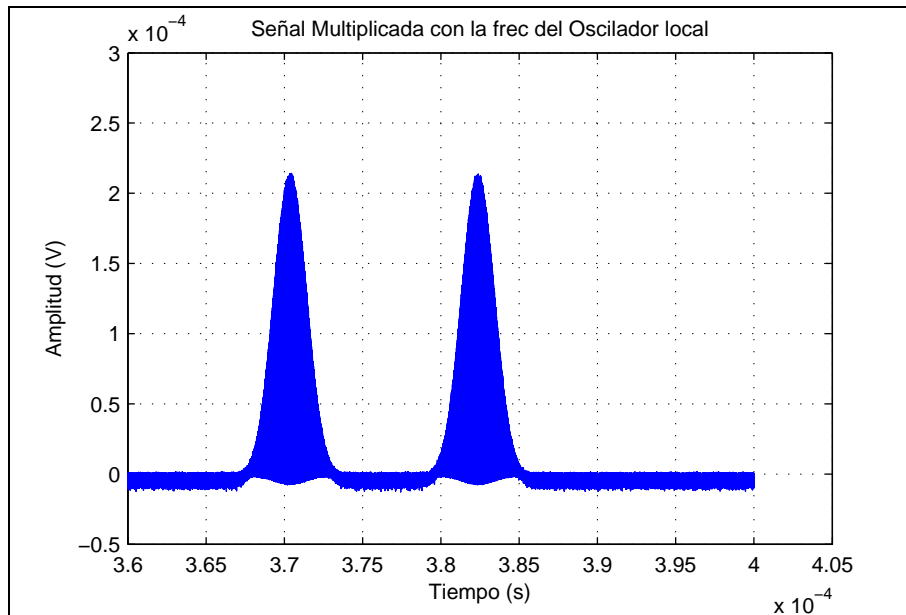
En primer lugar, la señal de DME utilizada para esta simulación, al tratarse de -60dBm de señal será la misma que la utilizada en los casos anteriores, es decir la Ilustración 33. A la señal anterior hay que añadirle la señal de interferencia de onda continua (Ilustración 59) y el ruido blanco Gaussiano (Ilustración 38), la señal resultante puede observarse en la Ilustración 60, se aprecia que la distorsión producida a la señal DME es muy poca al igual que ocurría en la simulación realizada en el apartado anterior, esto es debido a que la interferencia de Onda Continua y el Ruido es muy inferior al nivel de la señal de interrogación del DME.

**Ilustración 59: Señal de interferencia de Onda Continua****Ilustración 60: Señal Entrada al Receptor (Simulación con Ruido y CW)**

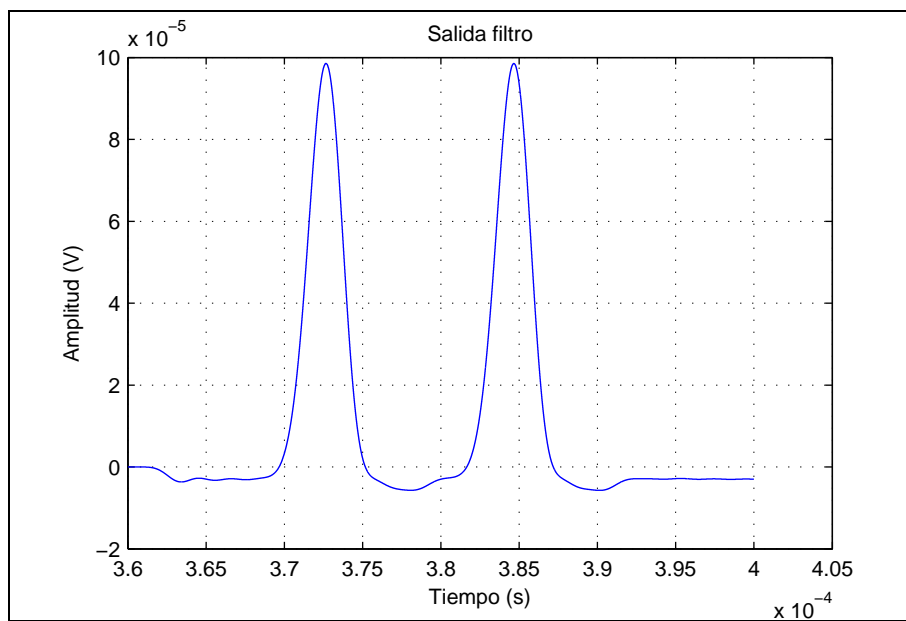
El espectro de frecuencias estaría formado por una componente en 1041MHz, al igual que ocurría en el caso anterior (Ilustración 49) ya que la interferencia de onda continua se produce a la frecuencia del DME.

En la Ilustración 61 se observa el resultado de la multiplicación con la señal cosenoidal proporcionada por el oscilador local, de la que se extrae un espectro de frecuencias igual al del apartado anterior, véase Ilustración 52.

Posteriormente, se filtra la señal eliminando la componente al doble de la frecuencia del DME, obteniendo la señal de video (ver Ilustración 62), en la figura que representa esta señal se observa que las interferencias que se han introducido no distorsionan ni deforman visualmente los pares de pulsos de la señal DME.



**Ilustración 61: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido y CW)**



**Ilustración 62: Salida Filtro (Simulación con Ruido y CW)**

A continuación, se le hace pasar a la señal por el amplificador logarítmico obteniendo la señal sobre la que se van a realizar las medidas dimensionales de los pulsos (Ilustración 63), se puede apreciar que los pulsos son muy parecidos a los de la señal sin interferencias, por lo que se prevé que sus dimensiones cumplan con las tolerancias establecidas por la norma.

Para proceder a la detección y a la posterior medida del ancho de los pulsos se realiza la derivada de la señal que sale del amplificador logarítmico, al igual que se hicieron en los casos anteriores, la representación gráfica de la señal derivada puede verse en la Ilustración 64. Se observa que existen tan sólo dos puntos en los que la curva pasa

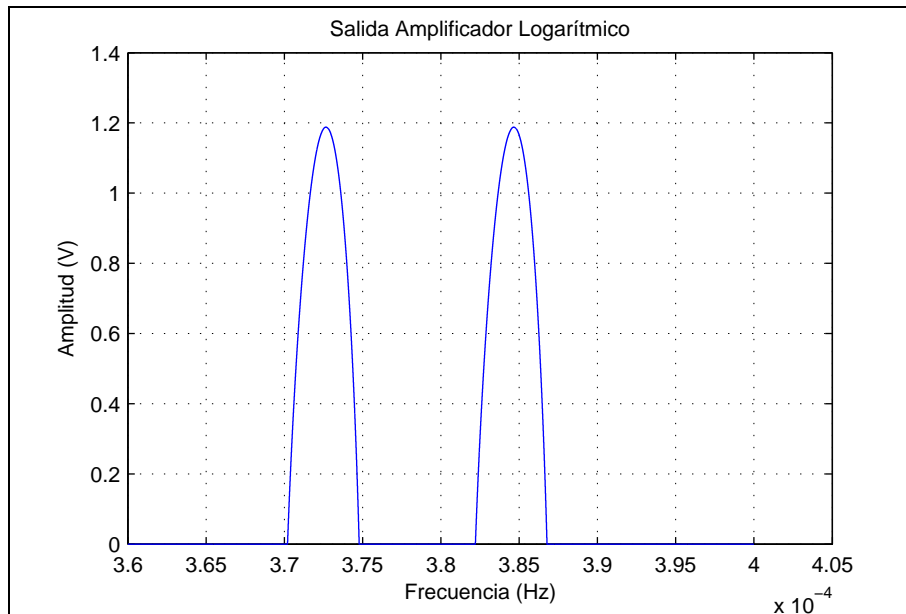


## Capítulo 2: DISEÑO

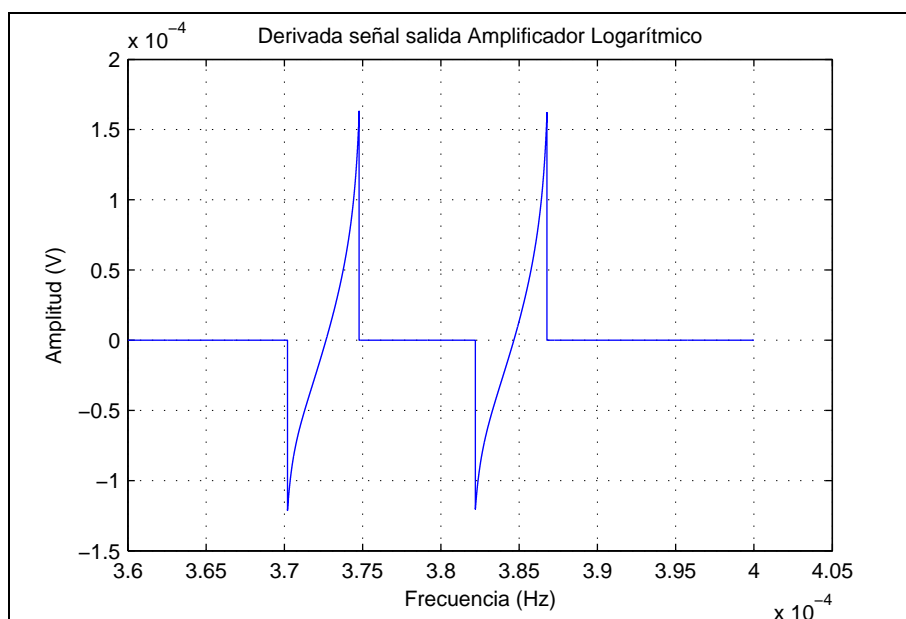
de negativo a positivo, siendo esos valores los pertenecientes a los máximos de los pulsos:

1)  $3,7266 \cdot 10^{-4} \text{s}$ .

2)  $3,8466 \cdot 10^{-4} \text{s}$



**Ilustración 63: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y CW)**



**Ilustración 64: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y CW)**

El valor de la señal de los máximos, como puede verse en la Ilustración 63, corresponde a:

1) 1,1880V.

2) 1,1877V.

Finalmente, el programa proporciona los valores que se muestran en la Ilustración 65, en la que se puede leer que ha detectado dos máximos cuya separación es exactamente  $12,001 \mu\text{s}$  y cuyo ancho en ambos casos es de  $3,396 \mu\text{s}$ , cumpliendo por



lo tanto con las especificaciones que establece la normativa, concluyendo por tanto que **-91dBm de interferencia de onda continua sumados al ruido no impiden la correcta detección** de los pares de pulsos de la interrogación del equipo DME de abordó.

```
Separacion_entre_pulsos =  
Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias  
Separacion_Entre_Pulsos =  
1.2001e-005  
ans =  
  
Ancho_Primer_pulso =  
Ancho del PRIMER pulso DENTRO de tolerancias  
a2 =  
3.3962e-006  
ans =  
  
Ancho_Segundo_pulso =  
Ancho del SEGUNDO pulso DENTRO de tolerancias  
a3 =  
3.3963e-006  
ans =
```

**Ilustración 65: Matlab Command Window Simulación Con Ruido y CW**

### 2.2.2.1.3 Simulación con Ruido e Interferencia de MLT sin analizar el efecto de sus espurios ( $f_{MLT}=1030MHz$ )

El motivo de esta simulación es ver cómo le afecta al receptor DME la frecuencia fundamental del equipo de MLT, para descubrir si el filtro del equipo es capaz de eliminar completamente, eliminando dicha componente, y permitiendo por tanto detectar sin problemas los pares de pulsos de la interrogación DME.

En la Ilustración 66 aparecen todos los valores de las variables de entrada que es necesario introducir en la ventana *Command Window*, tras ser demandados por el programa.

```
MATLAB Command Window 1 of 2  
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1030e6Hz): 1030e6  
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (1025e6-1040e6{Reservados},1041e6-1087e6Hz y  
1088e6-1150e6Hz): 1041e6  
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 2  
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de MLT y 2 si es que no: 1  
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 1  
Introduzca la ganancia de la señal recibida del DME en dBm (Señal recibida de la  
aeronave): -60  
Introduzca 1 si quiere calcular la potencia de los espurios de MLT en el RECEPTOR DEL  
DME y 2 si es que NO: 2  
Introduzca 1 si P6 CORTO(16,25e-6s) o 2 si P6 LARGO(30,25e-6s): 1  
Introduzca 1 si quiere la Potencia en ESPACIO LIBRE o 2 para CAMPO CORREGIDO: 2  
Introduzca la distancia a la que se encuentran las antenas de DME y MLT en metros:  
3000
```

**Ilustración 66: Introducción Datos (Simulación con Ruido y MLT sin espurios)**

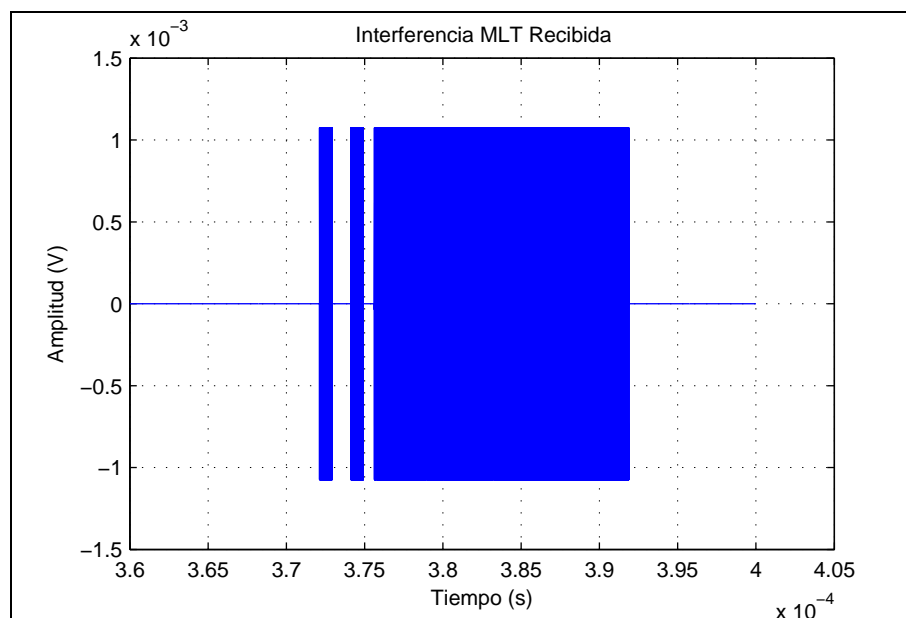




Una vez presentados los datos a introducir se mostrarán una a una las señales resultantes en cada paso del equipo receptor, para permitir una mejor comprensión del caso que nos ocupa.

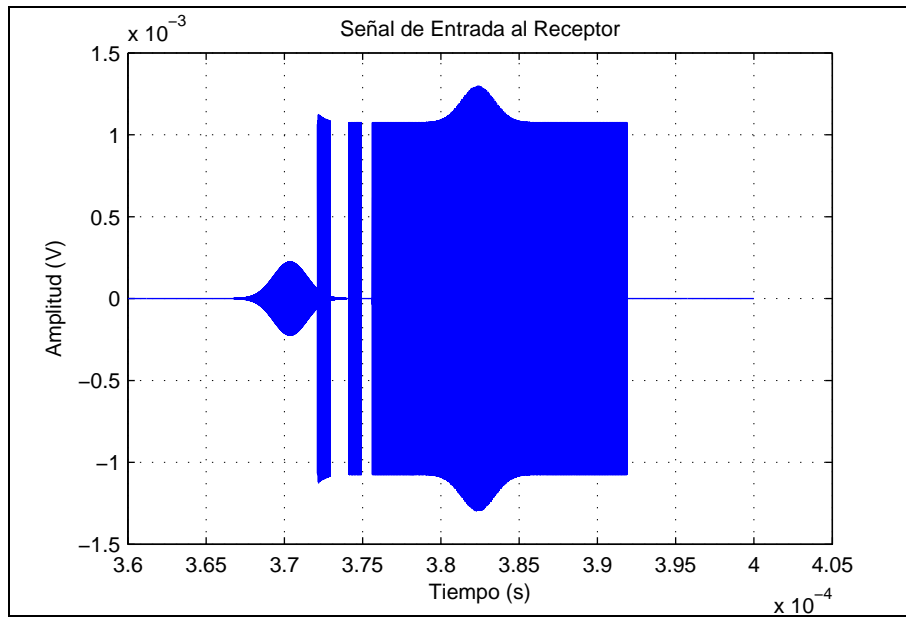
En primer lugar se presentan las señales que se introducen en el receptor:

- **Señal DME**, cuya representación puede observarse en la Ilustración 33, ya que al ser la potencia de -60dBm igual al empleado en el ejemplo al que pertenece dicha figura es exactamente la misma.
- **Interferencia de MLT**, tras haberse introducido una distancia entre antenas de 3000m, y examinando las variables que aporta el programa de Matlab se observa que la potencia disponible en el receptor DME de la señal de interferencia de MLT es de -46,37dBm. (Véase Ilustración 67)



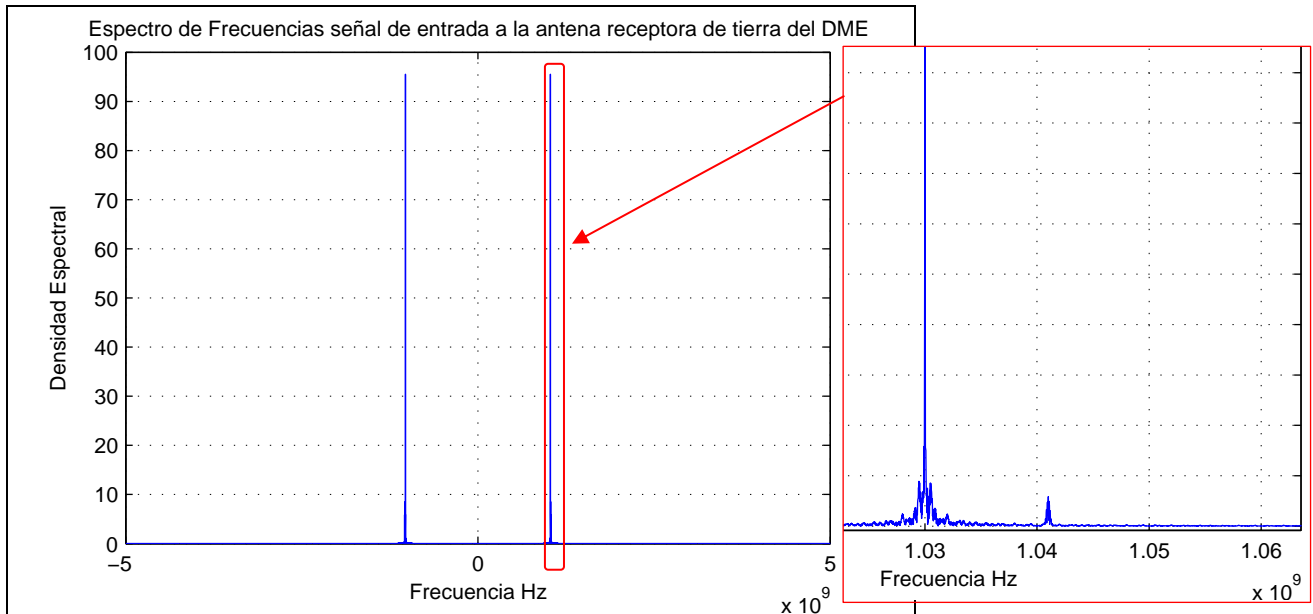
**Ilustración 67: Interferencia de MLT (Simulación con Ruido y MLT sin espurios)**

A continuación, puede verse la señal de entrada (Ilustración 68), suma de la interrogación DME y la interferencia de MLT, donde la forma de los pares de pulsos es absorbida por la señal de MLT, al poseer un nivel de señal mucho más elevado.



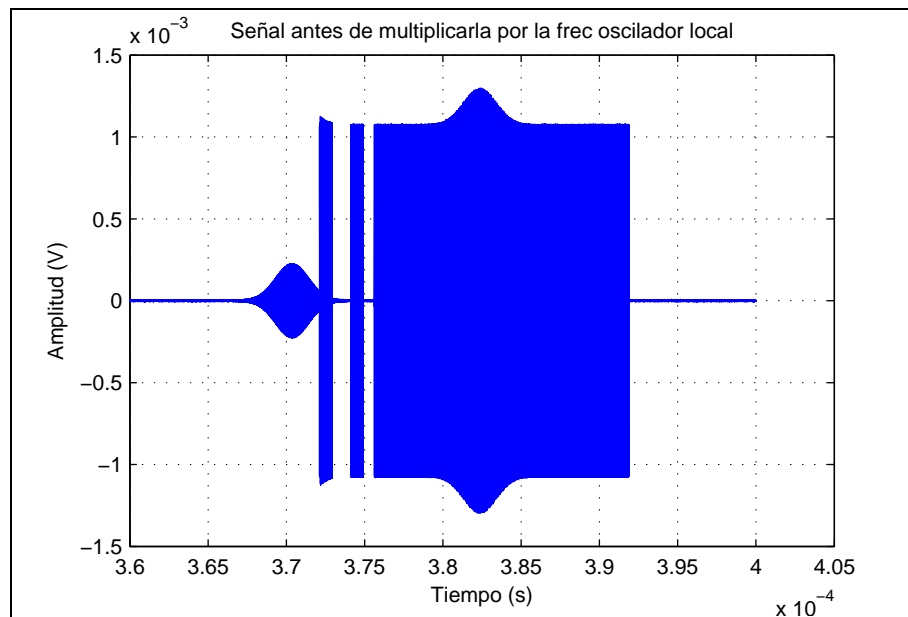
**Ilustración 68: Señal Entrada al Receptor (Simulación con Ruido y MLT sin espurios)**

El espectro de frecuencias de la señal anterior dispondrá de dos componentes, ya que existen dos frecuencias de portadora:  $f_{DME}$  (1041MHz) y  $f_{MLT}$  (1030MHz). Que pueden apreciarse en la Ilustración 69.



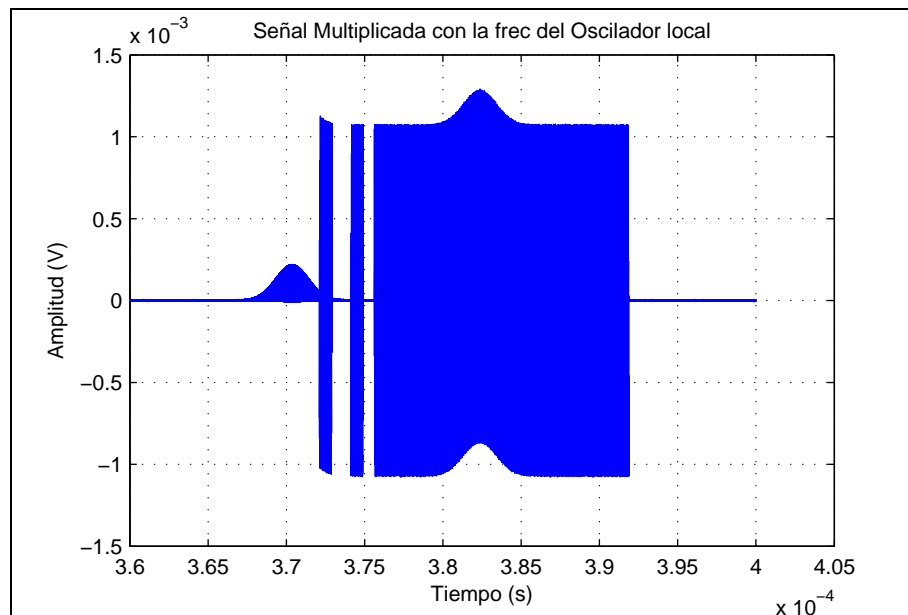
**Ilustración 69: Espectro de Frecuencias (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

Posteriormente, se le suma el ruido tras el filtro paso banda de 7MHz y el amplificador, y una figura de ruido de 3dB, obteniendo la señal que aparece en la Ilustración 70.



**Ilustración 70: Señales de entrada mas Ruido Blanco Gaussiano (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

Tras la suma del ruido comienza el proceso de detección de los pares de pulsos, multiplicando la señal representada en la Ilustración 70 por una señal cosenoidal a la frecuencia generada en el oscilador local (frecuencia del canal de interrogación del DME), cuyo resultado puede verse en la Ilustración 71.

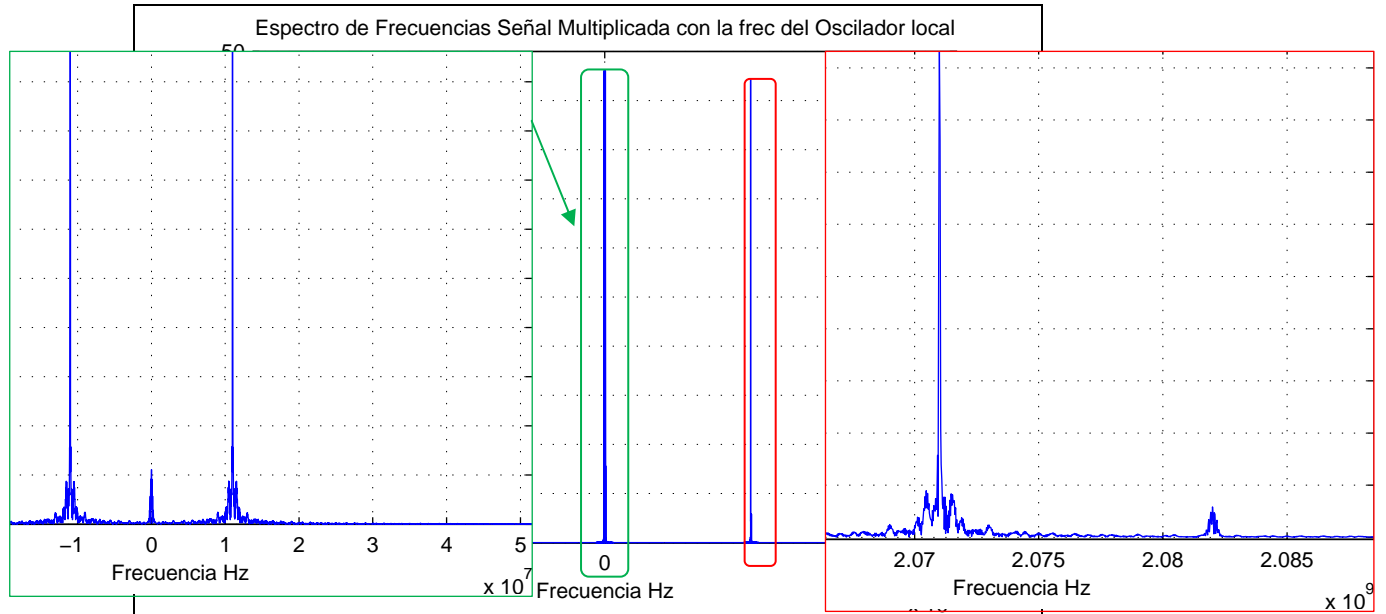


**Ilustración 71: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

El espectro de frecuencias de la señal se puede obtener con ayuda de la Ecuación 20, cuyo desarrollo puede verse en la Ecuación 22, en el que aparecen las cuatro componentes de frecuencia que muestra la Ilustración 72.

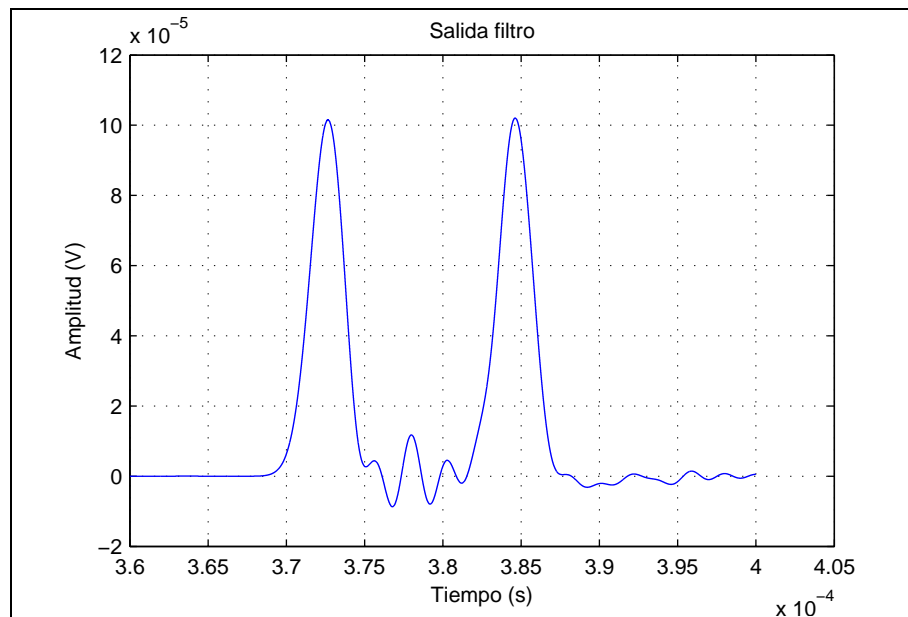
$$\begin{aligned}
 S &= (\cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME}) + \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{MLT})) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME}) = \\
 &= \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME}) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME}) + \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{MLT}) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{DME}) = \\
 &= \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot 2f_{DME}) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{MLT} - f_{DME})) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_{DME} + f_{MLT})))
 \end{aligned}$$

**Ecuación 22: Desarrollo Matemático Espectro de Frecuencias (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

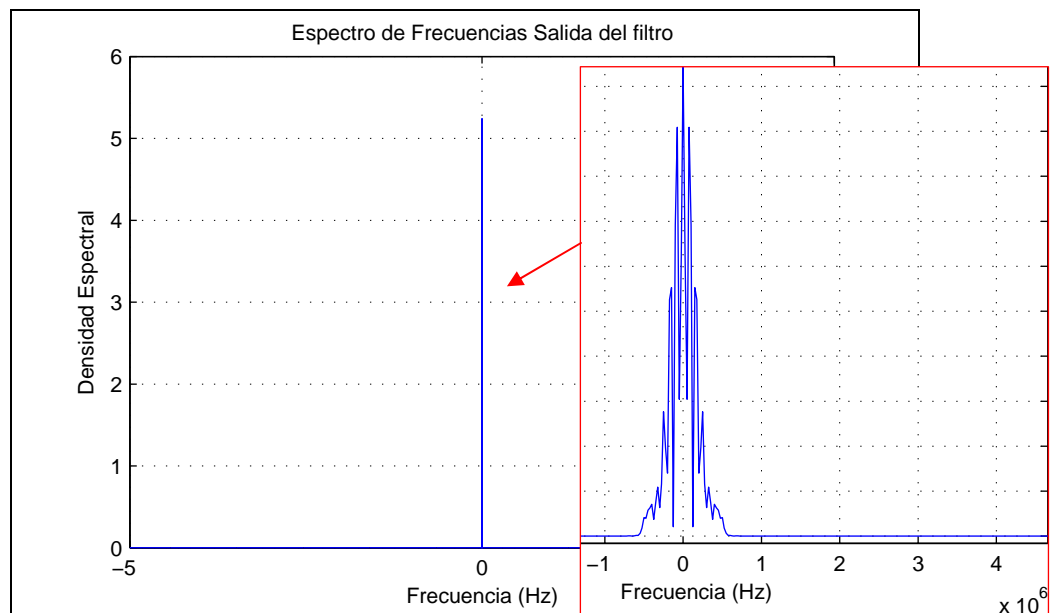


**Ilustración 72: Espectro de frecuencias Señal previa al filtrado (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

Aplicando el filtro representado por la Ilustración 42 se eliminan las tres componentes no deseadas ( $2 \cdot f_{DME}$ ,  $f_{DME} - f_{MLT}$ ,  $f_{DME} + f_{MLT}$ ), obteniendo tan sólo la componente de señal de video, este espectro de frecuencias viene representado en la Ilustración 74 y puede apreciarse dicho aspecto. La señal resultante tras aplicar el filtro carece prácticamente de distorsión excepto algunos pulsos que no afectarán demasiado debido a su pequeño tamaño (véase Ilustración 73).

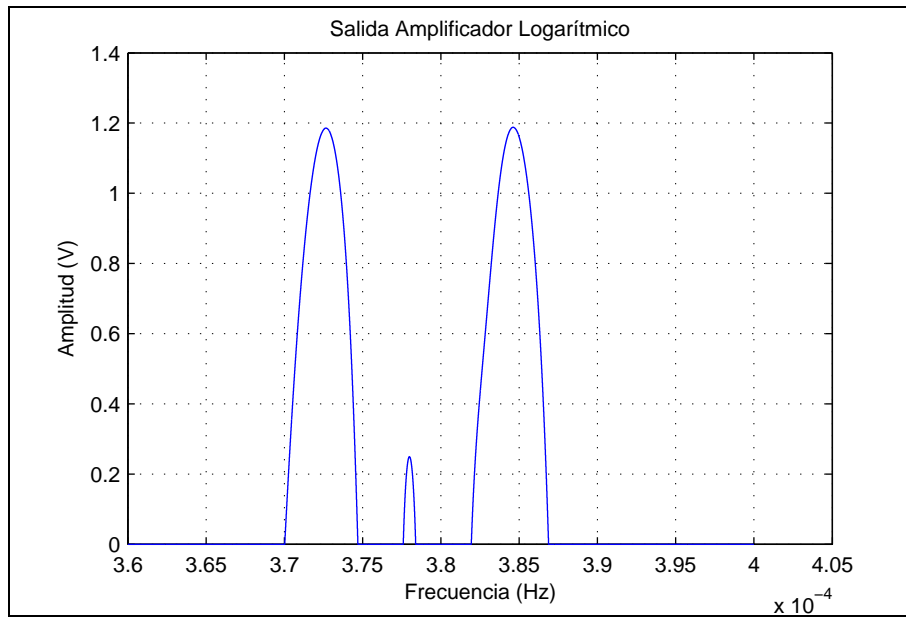


**Ilustración 73: Salida Filtro (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**



**Ilustración 74: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

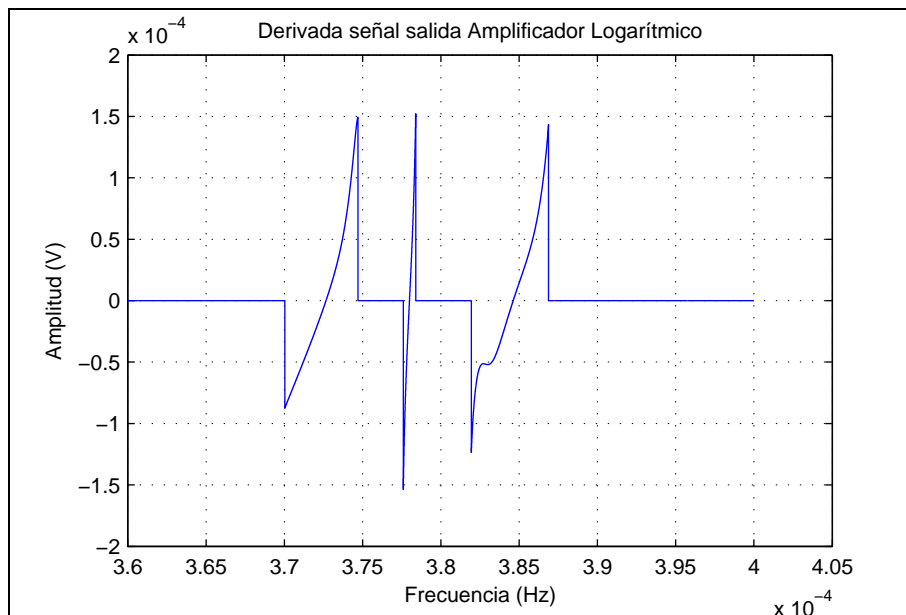
Antes de proceder a la comprobación dimensional se aplica un amplificador logarítmico, para equilibrar las diferentes potencias que pueden tener lugar en el receptor DME de tierra, como ya se ha explicado con anterioridad. En la Ilustración 75 puede apreciarse a la señal a la salida del amplificador, en la que se ven los pares de pulsos cuyo aspecto es como el ideal y aparece un pulso de interferencia entre uno y otro.



**Ilustración 75: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

Para realizar la comprobación dimensional se realiza la derivada de la señal de salida del amplificador logarítmico (Ilustración 76). Esta señal nos permite detectar los tres máximos observados en la Ilustración 75 que corresponde con los puntos situados en:

- 1)  $3,726623 \cdot 10^{-4} \text{s}$ .
- 2)  $3,779926 \cdot 10^{-4} \text{s}$ .
- 3)  $3,846203 \cdot 10^{-4} \text{s}$ .



**Ilustración 76: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido y MLT sin Espurios)**

El nivel de tensión de los máximos enunciados anteriormente expuestos según el orden citado en el párrafo anterior:

- 1) 1,18570078149611V.



2) 0,249497723295246V.

3) 1,18797170134987V.

Puede verse que el nivel del segundo está muy por debajo de la mitad del nivel de los otros dos. A su vez como muestra la Ilustración 77, tan solo la separación del primero y el tercero esta dentro de los  $12 \pm 0,1 \mu s$  que especifica la norma, cumpliendo además con las dimensiones de ancho de pulso, donde se han medido la distancia existente en los puntos 50% de la amplitud máxima del cada uno de los pulsos.

```
Separacion_entre_pulsos =  
Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias  
Separacion_Entre_Pulsos =  
1.1958e-005  
ans =  
  
Ancho_Primer_pulso =  
Ancho del PRIMER pulso DENTRO de tolerancias  
a2 =  
3.4024e-006  
ans =  
  
Ancho_Segundo_pulso =  
Ancho del SEGUNDO pulso DENTRO de tolerancias  
a3 =  
3.5075e-006  
ans =
```

Ilustración 77: Matlab Command Window Simulación Con Ruido y MLT sin Espurios

Por lo tanto, se puede concluir que las interferencias causadas por la frecuencia nominal del sistema de MLT **son filtradas completamente**, a pesar del alto nivel de señal que presentaba, es debido a que el filtro paso bajo diseñado (Ilustración 42) posee un ancho de banda muy estrecho mientras que la distancia de las frecuencias de portadora (11MHz la mínima) es mucho mayor.

Con lo cual, queda demostrado que **el interés del análisis de interferencias se encuentra sobre todo en los espurios de la señal de MLT**.

#### 2.2.2.1.4 Simulación con Ruido, onda continua (CW) e Interferencia de MLT analizando sus espurios ( $f_{MLT}=f_{DME}$ ).

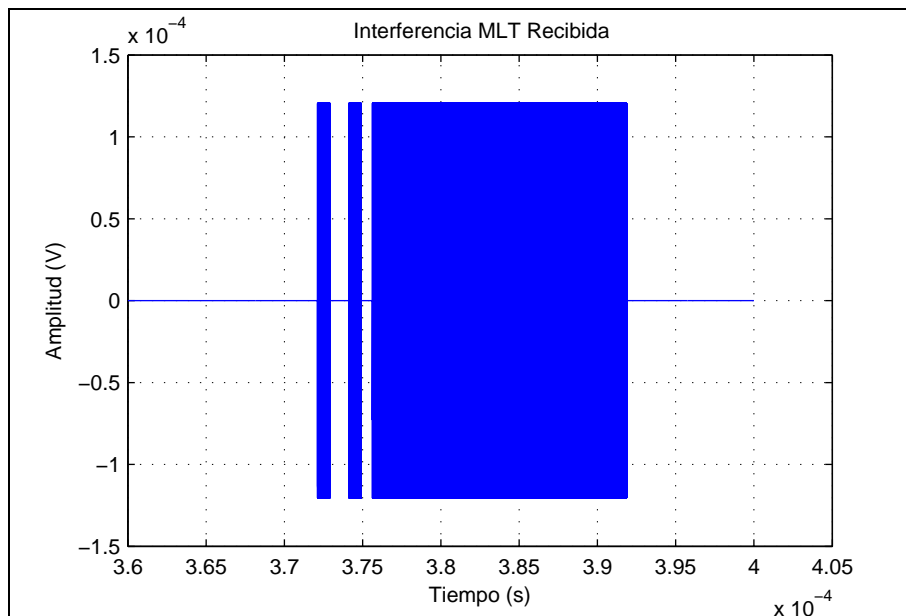
Para este último caso se han introducido las interferencias de los casos anteriores y además interferencias de la estación de tierra del sistema de MLT, considerando que las antenas de DME y MLT están a 3000m de distancia. A continuación se procederá como en las simulaciones anteriores, mostrando las imágenes en los distintos puntos de la simulación.

En primer lugar, se presenta la forma de la señal de interferencia de MLT, que puede observarse en la Ilustración 79, que como ya se explicó está formada por tres pulsos:  $P_1$  de  $0,8 \mu s$ ,  $P_2$  de también  $0,8 \mu s$  y el  $P_6$  de  $16,25 \mu s$  en el caso de pulso corto y  $30,25 \mu s$  en el caso de que el  $P_6$  sea largo.

```

MATLAB Command Window 1 of 2
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1030e6Hz): 1030e6
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (1025e6-1040e6{Reservados},1041e6-1087e6Hz y
1088e6-1150e6Hz): 1041e6
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 1
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de MLT y 2 si es que no: 1
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 1
Introduzca la ganancia de la señal recibida del DME en dBm (Señal recibida de la
aeronave): -60
Introduzca 1 si quiere calcular la potencia de los espurios de MLT en el RECEPTOR DEL
DME y 2 si es que NO: 1
Introduzca 1 si P6 CORTO(16,25e-6s) o 2 si P6 LARGO(30,25e-6s): 1
Introduzca 1 si quiere la Potencia en ESPACIO LIBRE o 2 para CAMPO CORREGIDO: 2
Introduzca la distancia a la que se encuentran las antenas de DME y MLT en metros:
3000
Introduzca la frecuencia de CW en Hz: 1041e6
Introduzca la ganancia de la señal recibida de CW en dBm: -91
  
```

**Ilustración 78: Introducción Datos (Simulación con Ruido, CW y MLT)**



**Ilustración 79: Señal interferencia de MLT**

Al estar las antenas a 3000m, implica que la potencia con la que llega a la antena del receptor del DME la interferencia de MLT será de -65,4dBm, considerando en el cálculo de dicha potencia el nivel de señal de los espurios de MLT y empleando a su vez el modelo de campo corregido por efecto suelo.

En la Ilustración 80 se muestra la señal resultante de la suma de la interrogación DME, la interferencia de Onda Continua y la señal de interferencia de MLT. En la que se aprecia la distorsión que produce en el segundo pulso de la interrogación DME debido sobre todo al pulso  $P_6$  de la interferencia de MLT, en el primer pulso de la interrogación DME también se aprecia diferencias respecto al original aunque en este caso sobre todo en lo que respecta a su duración.



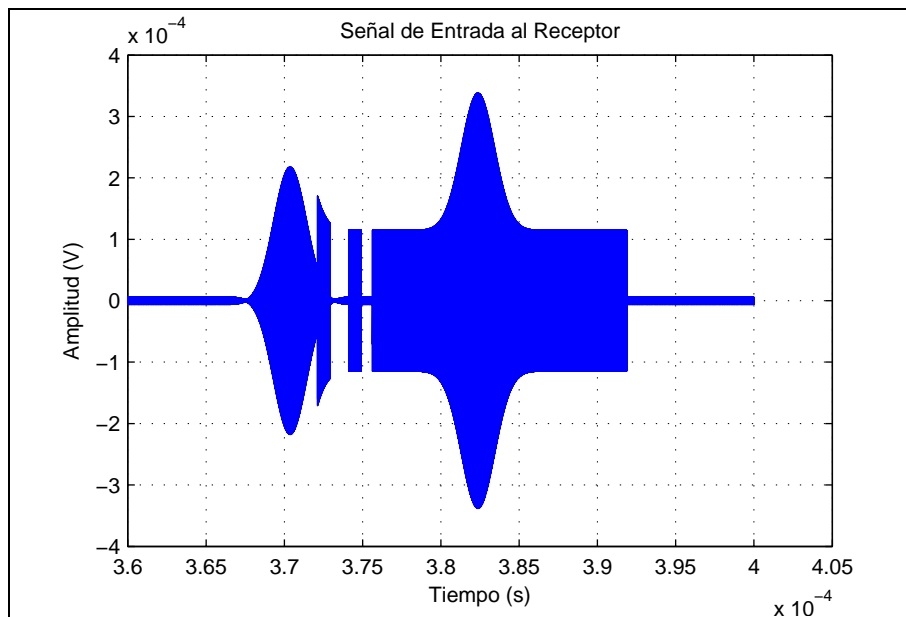


Ilustración 80: Señal de entrada al Receptor

A continuación, se le añade el ruido que como se puede apreciar en la Ilustración 81 modifica muy poco la forma general que tiene la señal. Posteriormente se multiplica la señal con la salida del oscilador local para eliminar la componente de alta frecuencia y obtener tan solo la deseada envolvente de la señal, dicha señal puede verse en la Ilustración 82.

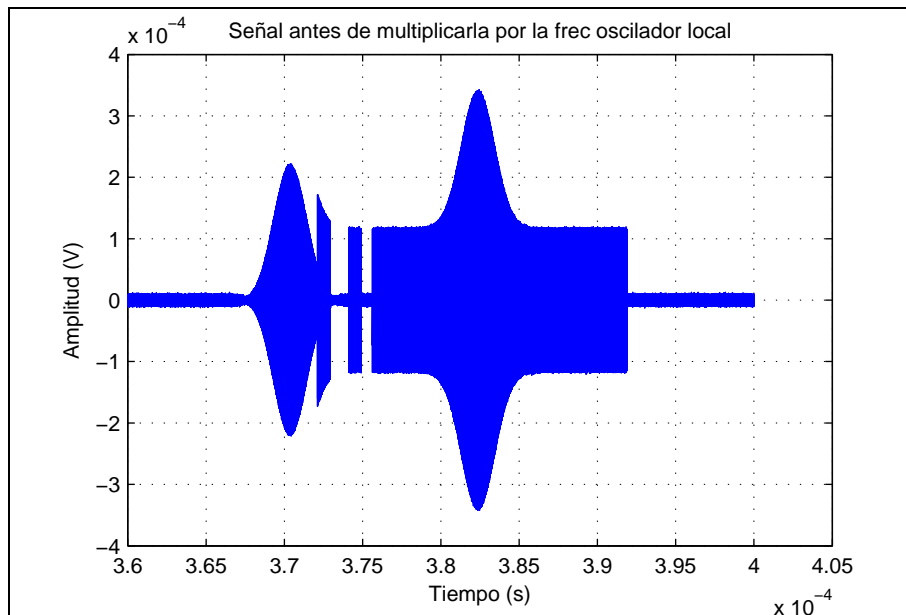
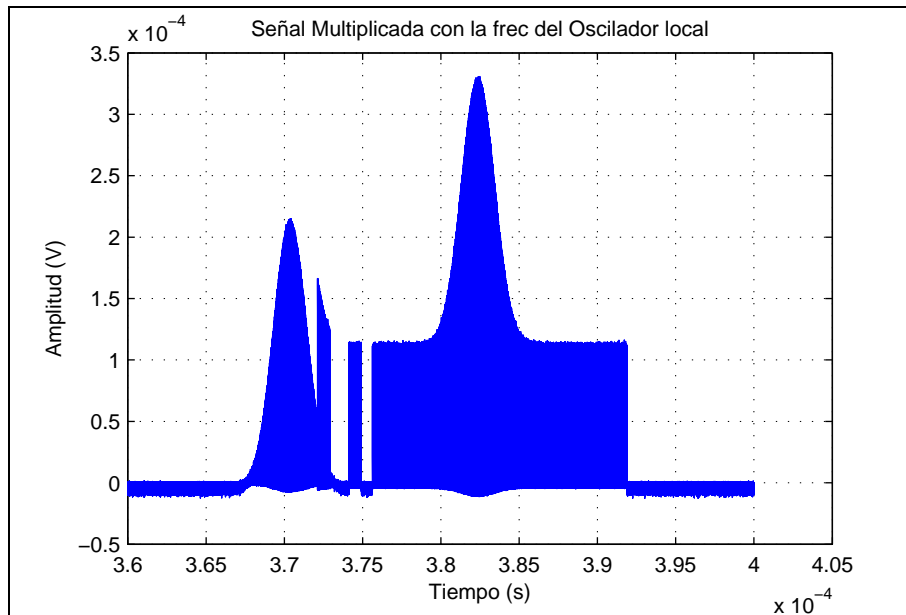
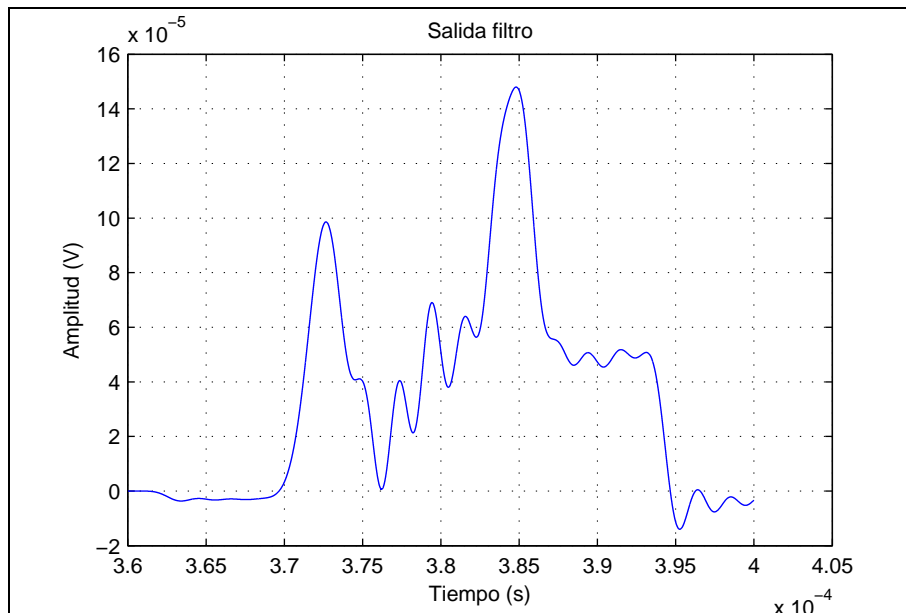


Ilustración 81: Señal de entrada al receptor sumada con el Ruido (Simulación con Ruido, CW y MLT)



**Ilustración 82: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido, CW y MLT)**

El espectro de la señal resultante es similar al que ha sido mostrado en las simulaciones anteriores (ver Ilustración 52) formado por dos componentes: una de baja frecuencia y una de alta frecuencia. Seguidamente se le aplica el filtro paso bajo (Ilustración 42) que elimine la indeseada alta frecuencia resultando la señal que se muestra en la Ilustración 83.

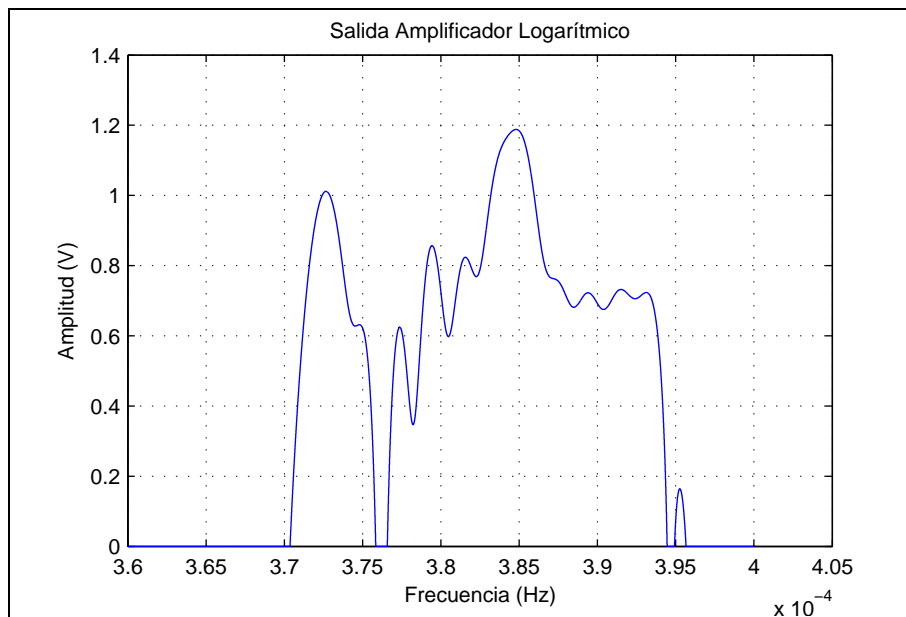


**Ilustración 83: Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y MLT)**

Finalmente, se le introduce a la señal en el amplificador logarítmico, cuya salida se muestra en la Ilustración 84, que como se puede apreciar difícilmente va a poder cumplir con las especificaciones en lo que respecta a ancho de pulso, ya que han sufrido una gran distorsión.



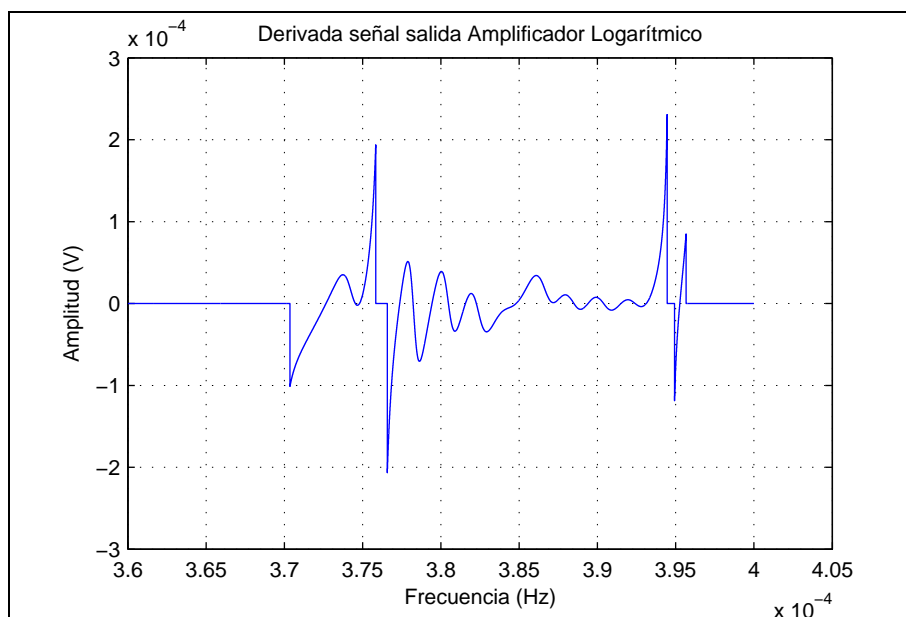
## Capítulo 2: DISEÑO



**Ilustración 84: Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y MLT)**

Para poder comprobar las dimensiones de los pulsos se realiza la derivada de la señal anterior (Ilustración 85), que detectará los máximos de dicha señal, obteniéndose los valores que se muestran a continuación:

- 1)  $3,726619 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 2)  $3,748035 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 3)  $3,773706 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 4)  $3,794348 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 5)  $3,815695 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 6)  $3,84811 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 7)  $3,894071 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 8)  $3,915114 \cdot 10^{-4} \text{s.}$
- 9)  $3,931244 \cdot 10^{-4} \text{s.}$



**Ilustración 85: Derivada Señal Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y MLT)**



Una vez obtenidos los máximos se comprueba si la distancia entre ellos estuviera entre los  $12 \pm 0,1 \mu s$  que dice la norma, dando como resultado que dos pares de pulsos se encuentran dentro de esa tolerancia:

- 1) El pulso situado a  $3,773706 \cdot 10^{-4} s$  con el ubicado a  $3,894071 \cdot 10^{-4} s$ .
- 2) Y el de  $3,794348 \cdot 10^{-4} s$  con el pulso de  $3,915114 \cdot 10^{-4} s$ .

Si se observa la Ilustración 84 se puede apreciar que para los pulsos anteriormente mencionados su nivel de tensión será:

- 1) En el primer par de pulsos detectados se tendrá: 0,6245V para el primer pulso y 0,8569V para el segundo pulso.
- 2) En lo que respecta al segundo par de pulsos: 0,7226V para el primer pulso y 0,7318V para el segundo pulso.

Es importante darse cuenta que ninguno de estos valores son los que corresponden a los valores de los pares de pulsos que se quiere detectar, que se encontrarán a:

- $3,7266 \cdot 10^{-4} s$  y  $3,8481 \cdot 10^{-4} s$ , siendo su distancia superior a los  $12,1 \mu s$ , por lo tanto no cumplen con las especificaciones y por esta razón el programa no ha seleccionado a éstos como solución al problema.

Teniendo un valor de tensión en los puntos del párrafo anterior de: 1,0115V y 1,1880V, respectivamente, siendo este último el valor máximo absoluto de la señal.

En la presentación en pantalla del Command Window (ver Ilustración 86) se aprecia que nos aporta los dos pares de pulsos detectados anteriormente mencionados, especificando la separación entre ellos. Pero llama la atención que en el análisis dimensional del primer pulso aparecen tres datos de fuera de tolerancia, esto es debido a que al tomar los  $2 \mu s$  a ambos lados del máximo el ancho de este pulso es tan pequeño que, a la mitad de su amplitud máxima y en el intervalo anteriormente mencionado, dará más de una solución a un lado del máximo, quedando claro que esta situación no estaría dentro de las tolerancias del pulso, mientras que para el segundo al no detectar ningún punto a la mitad de la amplitud máxima y dentro de un intervalo de  $2 \mu s$  a ambos lados del máximo no aporta valor alguno. Lo explicado anteriormente puede corroborarse observando la Ilustración 84.

Por lo tanto, se debe concluir que a 3000m de separación de las antenas del equipo de tierra del sistema de MLT y el receptor DME, añadiendo una interferencia de onda continua de -91dBm, **impide la correcta detección** de la interrogación del equipo DME de abordó.



|  |
|--|
| <pre>Separacion_entre_pulsos =<br/>Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias<br/>Separacion_Entre_Pulsos =<br/>1.2036e-005<br/>ans =</pre> |
| <pre>Separacion_entre_pulsos =<br/>Separación entre pulsos DENTRO de tolerancias<br/>Separacion_Entre_Pulsos =<br/>1.2077e-005<br/>ans =</pre> |
| <pre>Ancho_Primer_pulso =<br/>Ancho del PRIMER pulso FUERA de tolerancias<br/>a2 =<br/>1.1485e-006<br/>ans =</pre>                             |
| <pre>Ancho_Primer_pulso =<br/>Ancho del PRIMER pulso FUERA de tolerancias<br/>a2 =<br/>1.1823e-006<br/>ans =</pre>                             |
| <pre>Ancho_Primer_pulso =<br/>Ancho del PRIMER pulso FUERA de tolerancias<br/>a2 =<br/>5.1560e-007<br/>ans =</pre>                             |
| <pre>Ancho_Segundo_pulso =<br/>Ancho del SEGUNDO pulso FUERA de tolerancias<br/>ans =</pre>  |

**Ilustración 86: Matlab Command Window Simulación Con Ruido, CW y MLT**

### 2.2. 2.1.5 Resultados simulaciones.

En la presente sección se realizarán simulaciones con el programa del receptor DME que puede verse en el anexo2-apartado5, con un nivel de potencia de señal DME disponible en el receptor de -60dBm, variando el resto de variables de entrada con objeto de conseguir datos sobre cómo y qué tipo de interferencias son las que afectan al equipo receptor de DME en el proceso de detección de los pares de pulsos de interrogación. Los resultados aquí obtenidos podrán ser extrapolados de forma que si aumentamos nivel de señal DME las distancias disminuirán, mientras que disminuimos el nivel de señal DME las distancias serán mayores que las obtenidas en las simulaciones que se presentan a continuación. Se realizará una serie de tablas en la que se introducirá:

- La frecuencia del canal DME.
- La potencia disponible en el receptor, de señal DME.
- La frecuencia de la señal de Onda Continua.



- La potencia disponible en el receptor, de señal de interferencia de Onda Continua.
- La potencia de Ruido existente en el receptor.
- La frecuencia de la señal de transmisión del equipo de tierra del sistema de MLT.
- La distancia que existe entre la antena de recepción del equipo de tierra del DME y la antena de transmisión del equipo de tierra del sistema de MLT.
- La potencia disponible en el receptor, de la señal de interferencia de MLT.
- Los máximos detectados tras la realización de la simulación. Es el valor de la variable tk2 del programa de Matlab que puede observarse en el Anexo2-Apartado5.8.
- La distancia de los pares de pulsos dentro de tolerancias,  $12 \pm 0,1 \mu s$ . Es el valor proporcionado en la pantalla *Command Window* tras ejecutar el programa, del receptor DME (ver Anexo2-Apartado5).
- El ancho del primer y el segundo pulso, cuyo valor debe estar entre  $3,5 \pm 0,5 \mu s$  para estar dentro de tolerancias. Al igual que el anterior, es el valor proporcionado en el *Command Window* tras la ejecución del programa que puede observarse en el Anexo2-Apartado5.
- La confirmación de detección correcta o incorrecta. Se considerará detección correcta cuando tanto la distancia entre pulsos como el ancho de los dos pulsos esté dentro de tolerancias, así mismo se considerará detección incorrecta cuando al menos alguna de ellas esté fuera de su intervalo de tolerancias.

#### a) Simulaciones con Ruido e Interferencia de Onda Continua

En la Tabla 12 se ha realizado las simulaciones con ruido e interferencia de Onda continua, en la que se ha dado distintos valores de potencia disponible en el receptor de señal de onda continua, en intervalos de 5 en 5dB desde -85dB a -55dB, para las frecuencias de señal de interferencia de Onda Continua de 1038MHz, 1039MHz, 1040MHz, 1041MHz, 1042MHz, 1043MHz y 1044MHz.

En lo que respecta a la potencia disponible en el receptor de señal de ruido tras aplicar la formula  $P = K \cdot B \cdot T$ , introduciendo que  $K=1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K,  $B=7 \cdot 10^6$ Hz y  $T=290$ K, y pasando el resultado de dicho producto a dB, se obtiene que dicha potencia de ruido disponible en el receptor es de -102,5dB.

Tabla 12: Simulaciones con Ruido, CW y  $f_{DME}=1041$ MHz

| $f_{DME}$<br>(MHz) | $P_{drDME}$<br>(dBm) | $f_{CW}$<br>(MHz) | $P_{drCW}$<br>(dBm) | $P_{drRUIDO}$<br>(dBm) | $f_{MLT}$<br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | $P_{drMLT}$<br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>$12 \pm 0,1 \mu s$ | Ancho<br>1ºPulso<br>$3,5 \pm 0,5 \mu s$ | Ancho<br>2ºPulso<br>$3,5 \pm 0,5 \mu s$ | ¿Detección<br>Correcta? |
|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--|---|---|-------------------------|
| 1041               | -60                  | 1038              | -85                 | -102,5                 | -                  | -                            | -                    | 2                     | 12 $\mu s$   | 3,5008 $\mu s$                          | 3,5009 $\mu s$                          | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1038              | -80                 | -102,5                 | -                  | -                            | -                    | 2                     | 12 $\mu s$   | 3,4992 $\mu s$                          | 3,5004 $\mu s$                          | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1038              | -75                 | -102,5                 | -                  | -                            | -                    | 2                     | 12 $\mu s$   | 3,4991 $\mu s$                          | 3,5005 $\mu s$                          | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1038              | -70                 | -102,5                 | -                  | -                            | -                    | 2                     | 12 $\mu s$   | 3,4988 $\mu s$                          | 3,5001 $\mu s$                          | SI                      |



## Capítulo 2: DISEÑO

|      |     |      |     |        |   |   |   |    |                |                |                |    |
|------|-----|------|-----|--------|---|---|---|----|----------------|----------------|----------------|----|
| 1041 | -60 | 1038 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4987 $\mu$ s | 3,5003 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1038 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4980 $\mu$ s | 3,5003 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1038 | -55 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4967 $\mu$ s | 3,5007 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4991 $\mu$ s | 3,5009 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,001 $\mu$ s | 3,4987 $\mu$ s | 3,5014 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4987 $\mu$ s | 3,5012 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4991 $\mu$ s | 3,5007 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4972 $\mu$ s | 3,4994 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4957 $\mu$ s | 3,5006 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1039 | -55 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,997 $\mu$ s | 3,4925 $\mu$ s | 3,4997 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4982 $\mu$ s | 3,5006 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4970 $\mu$ s | 3,5002 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,999 $\mu$ s | 3,4957 $\mu$ s | 3,5005 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,999 $\mu$ s | 3,4929 $\mu$ s | 3,5002 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,996 $\mu$ s | 3,4894 $\mu$ s | 3,4988 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,992 $\mu$ s | 3,4811 $\mu$ s | 3,4976 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1040 | -55 | -102,5 | - | - | - | 3  | 11,985 $\mu$ s | 3,4685 $\mu$ s | 3,4964 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,001 $\mu$ s | 3,2983 $\mu$ s | 3,2978 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,002 $\mu$ s | 3,1508 $\mu$ s | 3,1510 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,004 $\mu$ s | 2,9037 $\mu$ s | 2,9069 $\mu$ s | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,006 $\mu$ s | 2,4940 $\mu$ s | 2,5068 $\mu$ s | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,010 $\mu$ s | 1,8042 $\mu$ s | 1,8323 $\mu$ s | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -60 | -102,5 | - | - | - | 11 | 11,955 $\mu$ s | -              | -              | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -55 | -102,5 | - | - | - | 13 | 11,933 $\mu$ s | -              | -              | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4984 $\mu$ s | 3,5003 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4976 $\mu$ s | 3,4997 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4956 $\mu$ s | 3,4944 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,998 $\mu$ s | 3,4940 $\mu$ s | 3,5004 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,996 $\mu$ s | 3,4895 $\mu$ s | 3,4996 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,992 $\mu$ s | 3,4809 $\mu$ s | 3,4987 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -55 | -102,5 | - | - | - | 3  | 11,985 $\mu$ s | 3,4681 $\mu$ s | 3,4955 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,001 $\mu$ s | 3,4992 $\mu$ s | 3,5012 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4989 $\mu$ s | 3,5003 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4995 $\mu$ s | 3,5011 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4985 $\mu$ s | 3,5007 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,999 $\mu$ s | 3,4979 $\mu$ s | 3,5001 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,998 $\mu$ s | 3,4956 $\mu$ s | 3,5004 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1043 | -55 | -102,5 | - | - | - | 2  | 11,998 $\mu$ s | 3,4925 $\mu$ s | 3,4993 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -85 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12,001 $\mu$ s | 3,4992 $\mu$ s | 3,5005 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -80 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4992 $\mu$ s | 3,5012 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -75 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4989 $\mu$ s | 3,5009 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -70 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4990 $\mu$ s | 3,5008 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -65 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4985 $\mu$ s | 3,4999 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -60 | -102,5 | - | - | - | 2  | 12 $\mu$ s     | 3,4983 $\mu$ s | 3,5008 $\mu$ s | SI |
| 1041 | -60 | 1044 | -55 | -102,5 | - | - | - | 3  | 11,999 $\mu$ s | 3,4968 $\mu$ s | 3,5007 $\mu$ s | SI |

Tras analizar los resultados se aprecia, como era de esperar, que la mayor interferencia se produzca cuando la señal tiene la misma frecuencia que el canal del DME.

Produciéndose detecciones correctas de los pares de pulsos para todas las frecuencias y potencias de Onda Continua disponible en el receptor, **exceptuando para la frecuencia de 1041MHz** que tan solo se producen, detecciones correctas con potencias de Onda Continua disponibles en el receptor de hasta -80dBm inclusive.



## b) Simulaciones con Ruido e Interferencia de MLT

En la Tabla 13 se ha realizado, en cambio, las simulaciones con ruido e interferencia de MLT, utilizando para esta última un  $P_6$  corto, modelo de campo compensado (véase 2.1.1.4.3) y a su vez se han considerado los espurios de la señal, ya que se ha demostrado previamente que, a la frecuencia nominal de transmisión de las estaciones de MLT de tierra el filtro la elimina con facilidad, no afectando por tanto a la detección de los pares de pulsos.

Se ha dado distintos valores a la distancia entre la antena del equipo receptor de tierra del DME y el equipo transmisor de tierra del sistema de MLT, que hará variar la potencia disponible de MLT en el receptor, dándole valores de 500 en 500m desde 8500m. También se ha variado la frecuencia del canal del DME, eligiéndose de tal forma que se observe la envolvente de frecuencias de transmisión del equipo de tierra de MLT (ver Ilustración 14), por lo tanto se estudiará para 1041MHz, 1051MHz, 1061MHz, 1071MHz, 1087MHz y 1150MHz, se han elegido este tipo de frecuencias ya que para el modelo de campo corregido la potencia no depende de la frecuencia, por lo que tan solo dependerá de la frecuencia debido a la distinta atenuación que poseen los espurios.

En lo que respecta a la potencia de ruido disponible en el receptor es el mismo que en el caso anterior, al no variar ninguno de los datos de la fórmula de la misma.

**Tabla 13: Simulación con Ruido y Espurios MLT con  $P_6$  corto y campo compensado por efecto suelo**

| $f_{DME}$<br>(MHz) | $P_{drDME}$<br>(dBm) | $f_{CW}$<br>(MHz) | $P_{drCW}$<br>(dBm) | $P_{drRUIDO}$<br>(dBm) | $f_{MLT}$<br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | $P_{drMLT}$<br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8500                         | -83,5                | 3                     | 12,012µs                                 | 3,5176µs                      | 3,7277µs                      | SI                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5191µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -81,3                | 5                     | 12,016µs                                 | 3,5250µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7000                         | -80,1                | 6                     | 12,019µs                                 | 3,5304µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6500                         | -78,8                | 7                     | 12,022µs                                 | 3,5384µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6000                         | -77,4                | 7                     | 12,025µs                                 | 3,5496µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5500                         | -75,9                | 7                     | 12,031µs                                 | 3,5676µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5000                         | -74,2                | 7                     | 12,039µs                                 | 3,5983µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 4500                         | -72,4                | 8                     | 12,051µs                                 | 3,6603µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 4000                         | -70,4                | 8                     | 12,068µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 3500                         | -68                  | 8                     | 12,097µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8500                         | -95,5                | 2                     | 12,011µs                                 | 3,5023µs                      | 3,5474µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -94,4                | 2                     | 12,012µs                                 | 3,5102µs                      | 3,5743µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -93,3                | 2                     | 12,006µs                                 | 3,5171µs                      | 3,5794µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7000                         | -92                  | 2                     | 12,009µs                                 | 3,5063µs                      | 3,5814µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6500                         | -90,8                | 2                     | 12,004µs                                 | 3,5178µs                      | 3,6069µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6000                         | -89,4                | 2                     | 12,001µs                                 | 3,5026µs                      | 3,6008µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5500                         | -87,9                | 2                     | 12,009µs                                 | 3,5135µs                      | 3,6368µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5000                         | -86,2                | 2                     | 12,018µs                                 | 3,5064µs                      | 3,6692µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 4500                         | -84,4                | 3                     | 12,016µs                                 | 3,5207µs                      | 3,6692µs                      | SI                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 4000                         | -82,4                | 5                     | 12,017µs                                 | 3,5192µs                      | -                             | NO                      |
| 1051               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 3500                         | -80                  | 6                     | 12,024µs                                 | 3,5373µs                      | -                             | NO                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8500                         | -102                 | 2                     | 12,001µs                                 | 3,5007µs                      | 3,5260µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -101                 | 2                     | 12,002µs                                 | 3,5008µs                      | 3,5282µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -100                 | 2                     | 12,002µs                                 | 3,5020µs                      | 3,5319µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 7000                         | -99,1                | 2                     | 12,003µs                                 | 3,5021µs                      | 3,5375µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6500                         | -97,8                | 2                     | 12,003µs                                 | 3,5023µs                      | 3,5431µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 6000                         | -96,4                | 2                     | 12,003µs                                 | 3,5020µs                      | 3,5503µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5500                         | -94,9                | 2                     | 12,003µs                                 | 3,5033µs                      | 3,5599µs                      | SI                      |
| 1061               | -60                  | -                 | -                   | -102,5                 | 1030               | 5000                         | -93,2                | 2                     | 12,005µs                                 | 3,5041µs                      | 3,5726µs                      | SI                      |





## Capítulo 2: DISEÑO

|      |     |   |   |        |      |      |       |   |          |          |          |    |
|------|-----|---|---|--------|------|------|-------|---|----------|----------|----------|----|
| 1061 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,005µs | 3,5050µs | 3,5899µs | SI |
| 1061 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,006µs | 3,5070µs | 3,5899µs | SI |
| 1061 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,008µs | 3,5106µs | 3,6494µs | SI |
| 1061 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,011µs | 3,5147µs | 3,7045µs | SI |
| 1061 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,016µs | 3,5251µs | -        | NO |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8500 | -107  | 2 | 12,001µs | 3,5012µs | 3,5151µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8000 | -106  | 2 | 12,002µs | 3,5007µs | 3,5170µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7500 | -105  | 2 | 12,002µs | 3,5009µs | 3,5203µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7000 | -104  | 2 | 12,000µs | 3,5003µs | 3,5226µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6500 | -103  | 2 | 12,002µs | 3,5006µs | 3,5257µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6000 | -101  | 2 | 12,002µs | 3,5010µs | 3,5287µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5500 | -100  | 2 | 12,002µs | 3,5022µs | 3,5348µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5000 | -98,2 | 2 | 12,003µs | 3,5023µs | 3,5421µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4500 | -96,4 | 2 | 12,004µs | 3,5014µs | 3,5509µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4000 | -94,4 | 2 | 12,003µs | 3,5036µs | 3,5647µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3500 | -92   | 2 | 12,005µs | 3,5035µs | 3,5835µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3000 | -89,4 | 2 | 12,007µs | 3,5074µs | 3,6133µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2500 | -86,2 | 2 | 12,009µs | 3,5102µs | 3,6647µs | SI |
| 1071 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2000 | -82,3 | 5 | 12,014µs | 3,5211µs | -        | NO |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8500 | -111  | 2 | 12,001µs | 3,5012µs | 3,5096µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8000 | -110  | 2 | 12,002µs | 3,4997µs | 3,5099µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7500 | -109  | 2 | 12,001µs | 3,4993µs | 3,5116µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7000 | -108  | 2 | 12,001µs | 3,5000µs | 3,5140µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6500 | -107  | 2 | 12,002µs | 3,4995µs | 3,5152µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6000 | -105  | 2 | 12,001µs | 3,5001µs | 3,5191µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5500 | -104  | 2 | 12,002µs | 3,5013µs | 3,5214µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5000 | -102  | 2 | 12,002µs | 3,5015µs | 3,5267µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4500 | -100  | 2 | 12,002µs | 3,5016µs | 3,5321µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4000 | -98,4 | 2 | 12,002µs | 3,5019µs | 3,5408µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3500 | -96   | 2 | 12,004µs | 3,5022µs | 3,5529µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3000 | -93,4 | 2 | 12,004µs | 3,5041µs | 3,5721µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2500 | -90,2 | 2 | 12,006µs | 3,5064µs | 3,6032µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2000 | -86,3 | 2 | 12,009µs | 3,5110µs | 3,6633µs | SI |
| 1087 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 1500 | -81,3 | 5 | 12,015µs | 3,5243µs | -        | NO |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8500 | -114  | 2 | 12,001µs | 3,4989µs | 3,5060µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 8000 | -113  | 2 | 12,001µs | 3,4991µs | 3,5075µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7500 | -112  | 2 | 12,001µs | 3,5003µs | 3,5084µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 7000 | -111  | 2 | 12,001µs | 3,5000µs | 3,5095µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6500 | -110  | 2 | 12,001µs | 3,5003µs | 3,5122µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 6000 | -108  | 2 | 12,001µs | 3,4997µs | 3,5127µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5500 | -107  | 2 | 12,001µs | 3,5003µs | 3,5155µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 5000 | -105  | 2 | 12,002µs | 3,5011µs | 3,5194µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4500 | -103  | 2 | 12,002µs | 3,5006µs | 3,5233µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 4000 | -101  | 2 | 12,002µs | 3,5012µs | 3,5289µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3500 | -99   | 2 | 12,003µs | 3,5006µs | 3,5383µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 3000 | -96,3 | 2 | 12,003µs | 3,5024µs | 3,5516µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2500 | -93,3 | 2 | 12,005µs | 3,5043µs | 3,5729µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 2000 | -89,3 | 2 | 12,006µs | 3,5079µs | 3,6146µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 1500 | -84,3 | 3 | 12,011µs | 3,5154µs | 3,7062µs | SI |
| 1150 | -60 | - | - | -102,5 | 1030 | 1000 | -77,3 | 7 | 12,026µs | 3,5502µs | -        | NO |

Tras analizar los resultados se aprecia, que a medida que la frecuencia se aleja de la frecuencia nominal del canal del DME, las detecciones se hacen mejores, reduciendo por lo tanto la distancia a la que las antenas de los equipos deben estar separadas, para evitar interferencias en el receptor del DME. Esto es debido a que a medida que la diferencia entre la frecuencia nominal del sistema de MLT y la frecuencia del canal del DME se hace mayor, los espurios de la señal de MLT son más débiles, como puede verse en la Ilustración 14.

Produciéndose detecciones correctas de los pares de pulsos para:

- $f_{DME}-f_{MLT}$  **entre 10 y 20MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 8500m**.
- $f_{DME}-f_{MLT}$  **entre 20 y 30MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 4500m**.
- $f_{DME}-f_{MLT}$  **entre 30 y 40MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 3000m**.
- $f_{DME}-f_{MLT}$  **entre 40 y 50MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 2500m**.
- $f_{DME}-f_{MLT}$  **entre 50 y 60MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 2000m**.
- $f_{DME}-f_{MLT}$  **superiores a 60MHz**, realiza detecciones correctas para unas distancias entre antenas **mayores o iguales a los 1500m**.

### c) Simulaciones con Ruido, interferencia de Onda Continua e interferencia de MLT

En la Tabla 14 se ha realizado, en cambio, las simulaciones con ruido e interferencia de MLT, utilizando para esta última un  $P_6$  corto, modelo de campo compensado (véase 2.1.1.4.3) y a su vez se han considerado los espurios de la señal.

Se ha dado distintos valores a la distancia entre la antena del equipo receptor de tierra del DME y el equipo transmisor de tierra del sistema de MLT, que hará variar la potencia disponible de MLT en el receptor, dándole valores de 500 en 500m desde 8500m. También se ha variado la frecuencia del canal del DME y la frecuencia de Onda Continua, con objeto de observar cómo afectan en su conjunto y que separación sería necesario dar a las antenas de DME y MLT de tierra en su caso.

Por lo tanto, se estudiará para las frecuencias de DME de 1041MHz (ver Tabla 14, Tabla 18 y Tabla 15), 1051MHz (ver Tabla 16) y 1061MHz (ver Tabla 17), no realizándose para 1071MHz, 1081MHz y 1150MHz como en el apartado anterior, debido a que se ha observado que deja de detectar los pulsos a la misma distancia de antenas que en el realizado en el apartado b). Así como para frecuencias de Onda Continua desplazadas 1MHz respecto a las anteriores, exceptuando para la frecuencia del canal del DME de 1041MHz, que se ha estudiado para una frecuencia de Onda Continua de 1040MHz, 1041MHz y 1042MHz, para poder apreciar que interferencia tiene más influencia en la detección de los pulsos o si por lo tanto sumadas producen unos resultados diferentes a los establecidos en los apartados a) y b).

En lo que respecta a la potencia de ruido disponible en el receptor es el mismo que en el caso anterior, al no variar ninguno de los datos de la fórmula de la misma.



## Capítulo 2: DISEÑO

**Tabla 14: Simulación con Ruido, CW f=1040MHz, interferencias de MLT y f<sub>DME</sub>=1041MHz**

| f <sub>DME</sub><br>(MHz) | P <sub>drDME</sub><br>(dBm) | f <sub>CW</sub><br>(MHz) | P <sub>drCW</sub><br>(dBm) | P <sub>drRUIDO</sub><br>(dBm) | f <sub>MLT</sub><br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | P <sub>drMLT</sub><br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,012µs                                 | 3,5166µs                      | 3,7283µs                      | SI                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -82,4                       | 5                     | 12,013µs                                 | 3,5189µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -81,3                       | 5                     | 12,015µs                                 | 3,5232µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -80,1                       | 6                     | 12,018µs                                 | 3,5293µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 6500                         | -78,8                       | 7                     | 12,021µs                                 | 3,5370µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 6000                         | -77,4                       | 7                     | 12,025µs                                 | 3,5483µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 5500                         | -75,9                       | 7                     | 12,031µs                                 | 3,5661µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 5000                         | -74,2                       | 7                     | 12,039µs                                 | 3,5968µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 4500                         | -72,4                       | 8                     | 12,050µs                                 | 3,6590µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 4000                         | -70,4                       | 8                     | 12,067µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,012µs                                 | 3,5165µs                      | 3,7278µs                      | SI                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -82,4                       | 5                     | 12,013µs                                 | 3,5185µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -81,3                       | 5                     | 12,016µs                                 | 3,5229µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -80,1                       | 6                     | 12,017µs                                 | 3,5277µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 6500                         | -78,8                       | 7                     | 12,021µs                                 | 3,5358µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 6000                         | -77,4                       | 7                     | 12,025µs                                 | 3,5468µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 5500                         | -75,9                       | 7                     | 12,031µs                                 | 3,5643µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 5000                         | -74,2                       | 7                     | 12,039µs                                 | 3,5959µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 4500                         | -72,4                       | 8                     | 12,050µs                                 | 3,6575µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -80                        | -102,5                        | 1030                      | 4000                         | -70,4                       | 8                     | 12,067µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,011µs                                 | 3,5142µs                      | 3,7272µs                      | SI                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -82,4                       | 5                     | 12,013µs                                 | 3,5172µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -81,3                       | 5                     | 12,015µs                                 | 3,5215µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -80,1                       | 6                     | 12,017µs                                 | 3,5262µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 6500                         | -78,8                       | 7                     | 12,020µs                                 | 3,5341µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 6000                         | -77,4                       | 7                     | 12,025µs                                 | 3,5457µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 5500                         | -75,9                       | 7                     | 12,030µs                                 | 3,5645µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 5000                         | -74,2                       | 7                     | 12,038µs                                 | 3,5939µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 4500                         | -72,4                       | 8                     | 12,049µs                                 | 3,6557µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -75                        | -102,5                        | 1030                      | 4000                         | -70,4                       | 8                     | 12,067µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,010µs                                 | 3,5117µs                      | 3,7275µs                      | SI                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -82,4                       | 5                     | 12,011µs                                 | 3,5144µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -81,3                       | 5                     | 12,013µs                                 | 3,5183µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -80,1                       | 6                     | 12,010µs                                 | 3,5248µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 6500                         | -78,8                       | 7                     | 12,019µs                                 | 3,5322µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 6000                         | -77,4                       | 7                     | 12,023µs                                 | 3,5435µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 5500                         | -75,9                       | 7                     | 12,029µs                                 | 3,5604µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 5000                         | -74,2                       | 7                     | 12,037µs                                 | 3,5900µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 4500                         | -72,4                       | 8                     | 12,048µs                                 | 3,6521µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -70                        | -102,5                        | 1030                      | 4000                         | -70,4                       | 8                     | 12,065µs                                 | -                             | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,008µs                                 | 3,5068µs                      | 3,7263µs                      | SI                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -82,4                       | 5                     | 12,010µs                                 | 3,5101µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -81,3                       | 5                     | 12,011µs                                 | 3,5140µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -80,1                       | 6                     | 12,014µs                                 | 3,5198µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 6500                         | -78,8                       | 7                     | 12,017µs                                 | 3,5272µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 6000                         | -77,4                       | 7                     | 12,022µs                                 | 3,5367µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 5500                         | -75,9                       | 7                     | 12,027µs                                 | 3,5558µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 5000                         | -74,2                       | 7                     | 12,035µs                                 | 3,5854µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 4500                         | -72,4                       | 8                     | 12,047µs                                 | 3,6457µs                      | -                             | NO                      |
| 1041                      | -60                         | 1040                     | -65                        | -102,5                        | 1030                      | 4000                         | -70,4                       | 8                     | 12,064µs                                 | -                             | -                             | NO                      |

**Tabla 15: Simulación con Ruido, CW f=1042MHz, interferencias de MLT y f<sub>DME</sub>=1041MHz**

| f <sub>DME</sub><br>(MHz) | P <sub>drDME</sub><br>(dBm) | f <sub>CW</sub><br>(MHz) | P <sub>drCW</sub><br>(dBm) | P <sub>drRUIDO</sub><br>(dBm) | f <sub>MLT</sub><br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | P <sub>drMLT</sub><br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1041                      | -60                         | 1042                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -83,5                       | 3                     | 12,012µs                                 | 3,5164µs                      | 3,7281µs                      | SI                      |



## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|      |     |      |     |        |      |      |       |   |          |          |          |    |
|------|-----|------|-----|--------|------|------|-------|---|----------|----------|----------|----|
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 5 | 12,013µs | 3,5194µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 5 | 12,016µs | 3,5240µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 6 | 12,018µs | 3,5293µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 7 | 12,021µs | 3,5355µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 7 | 12,025µs | 3,5485µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 7 | 12,031µs | 3,5664µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 7 | 12,039µs | 3,5968µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 8 | 12,040µs | 3,6590µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -85 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,067µs | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 8500 | -82,4 | 3 | 12,012µs | 3,5154µs | 3,7276µs | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 8000 | -81,3 | 5 | 12,013µs | 3,5189µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 7500 | -80,1 | 5 | 12,013µs | 3,5189µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 7000 | -78,8 | 6 | 12,018µs | 3,5298µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 6500 | -77,4 | 7 | 12,021µs | 3,5362µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 6000 | -75,9 | 7 | 12,025µs | 3,5474µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 5500 | -74,2 | 7 | 12,031µs | 3,5654µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 5000 | -72,4 | 7 | 12,038µs | 3,5956µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 4500 | -70,4 | 8 | 12,050µs | 3,6580µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -80 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,068µs | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 3 | 12,011µs | 3,5140µs | 3,7279µs | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 5 | 12,013µs | 3,5169µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 5 | 12,015µs | 3,5213µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 6 | 12,017µs | 3,5278µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 7 | 12,020µs | 3,5345µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 7 | 12,026µs | 3,5461µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 7 | 12,029µs | 3,5627µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 7 | 12,038µs | 3,5936µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 8 | 12,049µs | 3,6550µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -75 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,067µs | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 3 | 12,011µs | 3,5106µs | 3,7272µs | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 5 | 12,012µs | 3,5147µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 5 | 12,013µs | 3,5183µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 6 | 12,016µs | 3,5245µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 7 | 12,019µs | 3,5319µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 7 | 12,023µs | 3,5431µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 7 | 12,029µs | 3,5610µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 7 | 12,037µs | 3,5902µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 8 | 12,048µs | 3,6513µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -70 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,067µs | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 3 | 12,008µs | 3,5076µs | 3,7268µs | SI |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 5 | 12,009µs | 3,5100µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 5 | 12,012µs | 3,5140µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 6 | 12,015µs | 3,5188µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 7 | 12,017µs | 3,5275µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 7 | 12,021µs | 3,5381µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 7 | 12,027µs | 3,5559µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 7 | 12,035µs | 3,5846µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 8 | 12,046µs | 3,6450µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1042 | -65 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,064µs | -        | -        | NO |

**Tabla 16: Simulación con Ruido, CW f=1052MHz, interferencias de MLT y fDME=1051MHz**

| f <sub>DME</sub><br>(MHz) | P <sub>drDME</sub><br>(dBm) | f <sub>CW</sub><br>(MHz) | P <sub>drCW</sub><br>(dBm) | P <sub>drRUIDO</sub><br>(dBm) | f <sub>MLT</sub><br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | P <sub>drMLT</sub><br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1051                      | -60                         | 1052                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -95,5                       | 2                     | 11,993µs                                 | 3,4822µs                      | 3,5501µs                      | SI                      |
| 1051                      | -60                         | 1052                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -94,4                       | 2                     | 12,002µs                                 | 3,4924µs                      | 3,5661µs                      | SI                      |
| 1051                      | -60                         | 1052                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -93,3                       | 2                     | 11,985µs                                 | 3,4908µs                      | 3,5684µs                      | SI                      |
| 1051                      | -60                         | 1052                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -92                         | 2                     | 12,000µs                                 | 3,4875µs                      | 3,5766µs                      | SI                      |



## Capítulo 2: DISEÑO

|      |     |      |     |        |      |      |       |    |          |          |          |       |
|------|-----|------|-----|--------|------|------|-------|----|----------|----------|----------|-------|
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 2  | 12,005µs | 3,4884µs | 3,5842µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 2  | 12,007µs | 3,4970µs | 3,6209µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 2  | 12,002µs | 3,5049µs | 3,6391µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 2  | 12,005µs | 3,4959µs | 3,6577µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 3  | 12,002µs | 3,5101µs | 3,7115µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 4  | 12,008µs | 3,5096µs | -        | NO(*) |
| 1051 | -60 | 1052 | -85 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 6  | 12,013µs | 3,5183µs | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 8500 | -95,5 | 3  | 11,999µs | 3,4697µs | 3,5557µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 8000 | -94,4 | 3  | 11,994µs | 3,4724µs | 3,5535µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 7500 | -93,3 | 3  | 11,998µs | 3,4753µs | 3,5756µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 7000 | -92   | 3  | 11,998µs | 3,4632µs | 3,5709µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 3  | 11,990µs | 3,4664µs | 3,5820µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 3  | 11,995µs | 3,4773µs | 3,5965µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 3  | 11,998µs | 3,4864µs | 3,6339µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 3  | 12,005µs | 3,4798µs | 3,6490µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 4  | 12,001µs | 3,4747µs | 3,6887µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 5  | 12,001µs | 3,4967µs | -        | NO(*) |
| 1051 | -60 | 1052 | -80 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 7  | 11,996µs | 3,5049µs | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 8500 | -95,5 | 4  | 11,975µs | 3,4531µs | 3,5313µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 8000 | -94,4 | 4  | 11,980µs | 3,4441µs | 3,5499µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 7500 | -93,3 | 4  | 11,967µs | 3,4482µs | 3,5654µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 7000 | -92   | 4  | 11,979µs | 3,4457µs | 3,5757µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 4  | 11,983µs | 3,4546µs | 3,5787µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 4  | 11,986µs | 3,4750µs | 3,6088µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 4  | 11,986µs | 3,4595µs | 3,6228µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 4  | 11,986µs | 3,4655µs | 3,6470µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 5  | 11,984µs | 3,4689µs | 3,7086µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 7  | 11,988µs | 3,4754µs | -        | NO(*) |
| 1051 | -60 | 1052 | -75 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 8  | 11,984µs | 3,4759µs | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 8500 | -95,5 | 6  | 11,958µs | 3,4223µs | 3,5444µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 8000 | -94,4 | 6  | 11,945µs | 3,4223µs | 3,5460µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 7500 | -93,3 | 6  | 11,955µs | 3,4287µs | 3,5453µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 7000 | -92   | 6  | 11,947µs | 3,4220µs | 3,5618µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 6  | 11,945µs | 3,4225µs | 3,5875µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 6  | 11,962µs | 3,4187µs | 3,6136µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 6  | 11,953µs | 3,4268µs | 3,6223µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 7  | 11,964µs | 3,4191µs | 3,6420µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 7  | 11,958µs | 3,4332µs | 3,6897µs | SI    |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 9  | 11,959µs | 3,4415µs | -        | NO(*) |
| 1051 | -60 | 1052 | -70 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 11 | 11,963µs | 3,4452µs | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 8500 | -95,5 | 6  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 8000 | -94,4 | 6  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 7500 | -93,3 | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 7000 | -92   | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 8  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 7  | -        | -        | -        | NO    |
| 1051 | -60 | 1052 | -65 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 12 | -        | -        | -        | NO    |

(\*) Simulaciones realizadas debiendo reiniciar el Matlab para evitar el posible error de redondeo en la simulación, y que pueda variar así el resultado de dicha simulación.

**Tabla 17: Simulación con Ruido, CW f=1062MHz, interferencias de MLT y fDME=1061MHz**

| f <sub>DME</sub><br>(MHz) | P <sub>drDME</sub><br>(dBm) | f <sub>CW</sub><br>(MHz) | P <sub>drCW</sub><br>(dBm) | P <sub>drRUIDO</sub><br>(dBm) | f <sub>MLT</sub><br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | P <sub>drMLT</sub><br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1061                      | -60                         | 1062                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8500                         | -102                        | 2                     | 12,002µs                                 | 3,5023µs                      | 3,5254µs                      | SI                      |
| 1061                      | -60                         | 1062                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 8000                         | -101                        | 2                     | 12,002µs                                 | 3,5021µs                      | 3,5279µs                      | SI                      |
| 1061                      | -60                         | 1062                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7500                         | -100                        | 2                     | 12,002µs                                 | 3,5021µs                      | 3,5328µs                      | SI                      |
| 1061                      | -60                         | 1062                     | -85                        | -102,5                        | 1030                      | 7000                         | -99,1                       | 2                     | 12,003µs                                 | 3,5029µs                      | 3,5372µs                      | SI                      |





## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|      |     |      |     |        |      |      |       |   |          |          |          |    |
|------|-----|------|-----|--------|------|------|-------|---|----------|----------|----------|----|
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 6500 | -97,8 | 2 | 12,003µs | 3,5028µs | 3,5431µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 6000 | -96,4 | 2 | 12,004µs | 3,5031µs | 3,5511µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 5500 | -94,9 | 2 | 12,004µs | 3,5044µs | 3,5605µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 5000 | -93,2 | 2 | 12,004µs | 3,5056µs | 3,5724µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,005µs | 3,5066µs | 3,5903µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,007µs | 3,5087µs | 3,6149µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,009µs | 3,5115µs | 3,6496µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,012µs | 3,5161µs | 3,7046µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -85 | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,016µs | 3,5262µs | -        | NO |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 8500 | -102  | 2 | 12,002µs | 3,5033µs | 3,5257µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 8000 | -101  | 2 | 12,003µs | 3,5022µs | 3,5291µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 7500 | -100  | 2 | 12,003µs | 3,5032µs | 3,5331µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 7000 | -99,1 | 2 | 12,004µs | 3,5036µs | 3,5370µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 6500 | -97,8 | 2 | 12,004µs | 3,5043µs | 3,5433µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 6000 | -96,4 | 2 | 12,004µs | 3,5041µs | 3,5511µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 5500 | -94,9 | 2 | 12,004µs | 3,5049µs | 3,5604µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 5000 | -93,2 | 2 | 12,005µs | 3,5051µs | 3,5729µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,005µs | 3,5069µs | 3,5903µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,007µs | 3,5085µs | 3,6145µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,009µs | 3,5121µs | 3,6494µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,012µs | 3,5174µs | 3,7051µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -80 | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,016µs | 3,5268µs | -        | NO |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 8500 | -102  | 2 | 12,003µs | 3,5045µs | 3,5261µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 8000 | -101  | 2 | 12,003µs | 3,5041µs | 3,5292µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 7500 | -100  | 2 | 12,004µs | 3,5039µs | 3,5334µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 7000 | -99,1 | 2 | 12,004µs | 3,5049µs | 3,5385µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 6500 | -97,8 | 2 | 12,004µs | 3,5056µs | 3,5432µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 6000 | -96,4 | 2 | 12,005µs | 3,5056µs | 3,5510µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 5500 | -94,9 | 2 | 12,005µs | 3,5060µs | 3,5613µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 5000 | -93,2 | 2 | 12,005µs | 3,5068µs | 3,5731µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,006µs | 3,5095µs | 3,5907µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,008µs | 3,5105µs | 3,6147µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,010µs | 3,5135µs | 3,6496µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,012µs | 3,5177µs | 3,7043µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -75 | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,017µs | 3,5286µs | -        | NO |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 8500 | -102  | 2 | 12,004µs | 3,5067µs | 3,5259µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 8000 | -101  | 2 | 12,004µs | 3,5066µs | 3,5294µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 7500 | -100  | 2 | 12,004µs | 3,5074µs | 3,5337µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 7000 | -99,1 | 2 | 12,004µs | 3,5071µs | 3,5384µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 6500 | -97,8 | 2 | 12,005µs | 3,5080µs | 3,5439µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 6000 | -96,4 | 2 | 12,005µs | 3,5085µs | 3,5521µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 5500 | -94,9 | 2 | 12,007µs | 3,5090µs | 3,5611µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 5000 | -93,2 | 2 | 12,007µs | 3,5099µs | 3,5739µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,007µs | 3,5111µs | 3,5914µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,009µs | 3,5130µs | 3,6153µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,010µs | 3,5155µs | 3,6506µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,013µs | 3,5209µs | 3,7063µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -70 | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,018µs | 3,5320µs | -        | NO |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 8500 | -102  | 2 | 12,006µs | 3,5109µs | 3,5267µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 8000 | -101  | 2 | 12,006µs | 3,5113µs | 3,5300µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 7500 | -100  | 2 | 12,006µs | 3,5116µs | 3,5340µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 7000 | -99,1 | 2 | 12,006µs | 3,5124µs | 3,5384µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 6500 | -97,8 | 2 | 12,006µs | 3,5130µs | 3,5449µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 6000 | -96,4 | 2 | 12,007µs | 3,5131µs | 3,5522µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 5500 | -94,9 | 2 | 12,008µs | 3,5138µs | 3,5626µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 5000 | -93,2 | 2 | 12,008µs | 3,5139µs | 3,5745µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 4500 | -91,4 | 2 | 12,007µs | 3,5152µs | 3,5918µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 4000 | -89,4 | 2 | 12,011µs | 3,5177µs | 3,6163µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 3500 | -87   | 2 | 12,012µs | 3,5204µs | 3,6511µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 3000 | -84,4 | 3 | 12,016µs | 3,5254µs | 3,7070µs | SI |
| 1061 | -60 | 1062 | -65 | -102,5 | 1030 | 2500 | -81,2 | 5 | 12,020µs | 3,5360µs | -        | NO |



Tras observarse la Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, se puede sacar como conclusión que tras separar la frecuencia de onda continua 1MHz, el filtro elimina fácilmente esta interferencia, como ya se vio en el apartado a), influyendo prácticamente tan solo la interferencia de MLT.

Por lo que:

- Para la Tabla 14 y Tabla 15, valiendo dichos resultados para los casos en los que  $f_{DME}-f_{MLT}$  **está entre 10 y 20MHz y la frecuencia de Onda Continua difiere 1MHz de la del canal del DME**. Como la frecuencia del canal de DME es de 1041MHz según se vio en la Tabla 13, las antenas de MLT y DME deberán estar separadas **8500m al menos** para conseguir detecciones correctas de los pares de pulsos de la señal DME, coincidiendo con los resultados que aparecen en la Tabla 14 y Tabla 15.
- Para la Tabla 16, valiendo dichos resultados para los casos en los que  $f_{DME}-f_{MLT}$  **está entre 20 y 30MHz y la frecuencia de Onda Continua difiere 1MHz de la del canal del DME**. La separación que deberán tener las antenas es de **al menos 4500m**. Como la frecuencia del canal de DME es de 1051MHz según se vio en la Tabla 13 las antenas de MLT y DME deberán estar separadas 4500m al menos para conseguir detecciones correctas de los pares de pulsos de la señal DME, coincidiendo con los resultados anteriores.

Exceptuando cuando la potencia de Onda Continua disponible en el receptor sea de -65dBm que no detectará a ninguna distancia entre antenas, lo cual no tiene mucho sentido ya que aunque la potencia disponible de señal de Onda Continua es grande si analizamos otro ejemplo de frecuencias distinto del realizado en la Tabla 16, por ejemplo:  $f_{DME}=1056\text{MHz}$  y  $f_{CW}=1057\text{MHz}$  analiza pulsos correctamente hasta 4500m inclusive, por lo tanto se hará caso omiso a dichos resultados.

- Para la Tabla 17, valiendo dichos resultados para los casos en los que  $f_{DME}-f_{MLT}$  **está entre 30 y 40MHz y la frecuencia de Onda Continua difiere 1MHz de la del canal del DME**. Como la frecuencia del canal de DME es de 1061MHz según se vio en la Tabla 13, las antenas de MLT y DME deberán estar separadas **2500m al menos** para conseguir detecciones correctas de los pares de pulsos de la señal DME, coincidiendo con los resultados que aparecen en la Tabla 17.

Tabla 18: Simulación con Ruido, CW  $f=1041\text{MHz}$ , interferencias de MLT y  $f_{DME}=1041\text{MHz}$

| $f_{DME}$<br>(MHz) | $P_{drDME}$<br>(dBm) | $f_{CW}$<br>(MHz) | $P_{drCW}$<br>(dBm) | $P_{drRUIDO}$<br>(dBm) | $f_{MLT}$<br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | $P_{drMLT}$<br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1041               | -60                  | 1041              | -120                | -102,5                 | 1030               | 8500                         | -83,5                | 3                     | 12,013µs                                 | 3,5137µs                      | 3,7241µs                      | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -120                | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5166µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -120                | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -81,3                | 5                     | 12,015µs                                 | 3,5208µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -115                | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5137µs                      | 3,7516µs                      | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -115                | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -81,3                | 5                     | 12,016µs                                 | 3,5171µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -110                | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5081µs                      | 3,7450µs                      | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -110                | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -81,3                | 5                     | 12,017µs                                 | 3,5112µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -105                | -102,5                 | 1030               | 8000                         | -82,4                | 4                     | 12,014µs                                 | 3,4977µs                      | 3,7356µs                      | SI                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -105                | -102,5                 | 1030               | 7500                         | -81,3                | 5                     | 12,016µs                                 | 3,5015µs                      | -                             | NO                      |
| 1041               | -60                  | 1041              | -105                | -102,5                 | 1030               | 7000                         | -80,1                | 6                     | 12,018µs                                 | 3,5070µs                      | -                             | NO                      |



## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|      |     |      |      |        |      |      |       |   |                      |          |          |    |
|------|-----|------|------|--------|------|------|-------|---|----------------------|----------|----------|----|
| 1041 | -60 | 1041 | -100 | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 3 | 12,015µs             | 3,4811µs | 3,7177µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -100 | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 5 | 12,015µs             | 3,4841µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -100 | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 5 | 12,019µs             | 3,4907µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -100 | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 6 | 12,022µs             | 3,4966µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -95  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 3 | 12,017µs             | 3,4542µs | 3,7220µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -95  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 5 | 12,019µs             | 3,4586µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -95  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 6 | 12,022µs             | 3,4647µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -90  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 3 | 12,019µs             | 3,4046µs | 3,7094µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -90  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 5 | 12,022µs             | 3,4099µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -90  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 5 | 12,026µs             | 3,4175µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 2 | 12,013µs             | 3,3056µs | 3,5101µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 2 | 12,015µs             | 3,3085µs | 3,3085µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 2 | 12,017µs             | 3,3091µs | 3,3717µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 2 | 12,019µs             | 3,3117µs | 3,6132µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 3 | 12,023µs             | 3,3154µs | 3,6653µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 3 | 12,027µs             | 3,3210µs | 3,7334µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 6 | 12,032µs             | 3,3296µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 7 | 12,040µs             | 3,3439µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 8 | 12,052µs             | 3,3714µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,069µs             | 3,4380µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -85  | -102,5 | 1030 | 3500 | -68   | 8 | 12,097µs             | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 2 | 12,015µs             | 3,1526µs | 3,3573µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 2 | 12,015µs             | 3,1528µs | 3,3833µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 2 | 12,018µs             | 3,1534µs | 3,4153µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 2 | 12,020µs             | 3,1547µs | 3,4543µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 2 | 12,024µs             | 3,1564µs | 3,5037µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 3 | 12,028µs             | 3,1587µs | 3,5661µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 3 | 12,033µs             | 3,1637µs | 3,6472µs | SI |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 6 | 12,041µs             | 3,1705µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 7 | 12,052µs             | 3,1845µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 8 | 12,069µs             | 3,2153µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 3500 | -68   | 8 | 12,098µs             | 3,3199µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -80  | -102,5 | 1030 | 3000 | -65,4 | 9 | 12,035µs<br>12,078µs | -        | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 2 | 12,015µs             | 2,8992µs | 3,1065µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 2 | 12,017µs             | 2,8973µs | 3,1314µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 2 | 12,019µs             | 2,8967µs | 3,1620µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 2 | 12,022µs             | 2,8957µs | 3,1988µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 2 | 12,025µs             | 2,8951µs | 3,2447µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 2 | 12,029µs             | 2,8942µs | 3,3023µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 2 | 12,035µs             | 2,8935µs | 3,3772µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 2 | 12,042µs             | 2,8935µs | 3,4756µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 4 | 12,053µs             | 2,8945µs | 3,6130µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -75  | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 7 | 12,070µs             | 2,9000µs | -        | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 2 | 12,018µs             | 2,4803µs | 2,7039µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 2 | 12,020µs             | 2,4788µs | 2,7279µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 2 | 12,023µs             | 2,4765µs | 2,7581µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 2 | 12,023µs             | 2,4738µs | 2,7941µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 2 | 12,027µs             | 2,4701µs | 2,8380µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 2 | 12,031µs             | 2,4667µs | 2,8933µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 2 | 12,037µs             | 2,4619µs | 2,9642µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 2 | 12,045µs             | 2,4554µs | 3,0553µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 2 | 12,055µs             | 2,4475µs | 3,1767µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -70  | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 3 | 12,072µs             | 2,4364µs | 3,3465µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 8500 | -83,5 | 2 | 12,022µs             | 1,7841µs | 2,0352µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 8000 | -82,4 | 2 | 12,023µs             | 1,7814µs | 2,0596µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 7500 | -81,3 | 2 | 12,025µs             | 1,7778µs | 2,0909µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 7000 | -80,1 | 2 | 12,028µs             | 2,0909µs | 2,1276µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 6500 | -78,8 | 2 | 12,031µs             | 1,7682µs | 2,1745µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 6000 | -77,4 | 2 | 12,036µs             | 1,7623µs | 2,2319µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65  | -102,5 | 1030 | 5500 | -75,9 | 2 | 12,040µs             | 1,7545µs | 2,3053µs | NO |





## Capítulo 2: DISEÑO

|      |     |      |     |        |      |      |       |   |          |          |          |    |
|------|-----|------|-----|--------|------|------|-------|---|----------|----------|----------|----|
| 1041 | -60 | 1041 | -65 | -102,5 | 1030 | 5000 | -74,2 | 2 | 12,048µs | 1,7439µs | 2,3994µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65 | -102,5 | 1030 | 4500 | -72,4 | 2 | 12,058µs | 1,7308µs | 2,5242µs | NO |
| 1041 | -60 | 1041 | -65 | -102,5 | 1030 | 4000 | -70,4 | 2 | 12,075µs | 1,7125µs | 2,6922µs | NO |

En la Tabla 18 se puede ver el efecto que producen las interferencias de MLT y de Onda Continua cuando estas últimas coinciden con la frecuencia del canal del DME, en particular para  $f_{DME}=f_{CW}=1041\text{MHz}$ .

Se observa que el número de pares de pulsos no aceptados es muy numeroso, esto puede ser causado por el efecto que tiene la interferencia de Onda Continua, ya que en la Tabla 12 se observa que cuando existe solamente interferencia de Onda Continua se producen **detecciones incorrectas a partir de los -75dBm de potencia de señal de Onda Continua**.

Mientras que para el resto de niveles de señal es un término medio entre lo que ocurre con interferencia de MLT solamente y lo que ocurre con interferencia de Onda Continua solamente. Observándose que:

- **Para -120dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 8500m**, que coincide con el resultado de la Tabla 13 para el valor de  $f_{DME}=1041\text{MHz}$ .
- **Para -100dBm, -105dBm, -110dBm y -115dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 7500m**.
- **Para -95dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 7000m**.
- **Para -90dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 6500m**.
- **Para -85dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 5500m**.
- **Para -85dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 6000m**.
- **Para -80dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 5500m**.

Se hace notar que los resultados anteriores (Tabla 18) son validos siempre que la  $f_{DME}-f_{MLT}$  **esté entre 10 y 20MHz**, ya que se han calculado la interferencia que producen los espurios de la señal de MLT y la potencia de éstos va a variar según la diferencia de frecuencias anteriormente mencionada.

**Tabla 19: Simulación con Ruido, CW  $f=1052\text{MHz}$ , interferencias de MLT y  $f_{DME}=1052\text{MHz}$**

| $f_{DME}$<br>(MHz) | $P_{drDME}$<br>(dBm) | $f_{CW}$<br>(MHz) | $P_{drCW}$<br>(dBm) | $P_{drRUIDO}$<br>(dBm) | $f_{MLT}$<br>(MHz) | Distancias<br>DME-MLT<br>(m) | $P_{drMLT}$<br>(dBm) | Máximos<br>detectados | Pares de<br>pulsos<br>dentro<br>12±0,1µs | Ancho<br>1ºPulso<br>3,5±0,5µs | Ancho<br>2ºPulso<br>3,5±0,5µs | ¿Detección<br>Correcta? |
|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1052               | -60                  | 1052              | -120                | -102,5                 | 1030               | 4500                         | -84,4                | 3                     | 12,011µs                                 | 3,5104µs                      | 3,6974µs                      | SI                      |
| 1052               | -60                  | 1052              | -120                | -102,5                 | 1030               | 4000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5152µs                      | -                             | NO                      |
| 1052               | -60                  | 1052              | -115                | -102,5                 | 1030               | 4000                         | -82,4                | 5                     | 12,014µs                                 | 3,5119µs                      | 3,7504µs                      | SI                      |
| 1052               | -60                  | 1052              | -115                | -102,5                 | 1030               | 3500                         | -80                  | 6                     | 12,019µs                                 | 3,5206µs                      | -                             | NO                      |



## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|      |     |      |      |        |      |      |       |   |          |          |          |    |
|------|-----|------|------|--------|------|------|-------|---|----------|----------|----------|----|
| 1052 | -60 | 1052 | -110 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 4 | 12,014µs | 3,5035µs | 3,7412µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -110 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 6 | 12,019µs | 3,5125µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -105 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 3 | 12,014µs | 3,4913µs | 3,7288µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -105 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 5 | 12,020µs | 3,4992µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -100 | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 3 | 12,014µs | 3,4674µs | 3,7042µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -100 | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 5 | 12,018µs | 3,4747µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -95  | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 3 | 12,014µs | 3,4253µs | 3,6601µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -95  | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 5 | 12,020µs | 3,4333µs | 3,7405µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -95  | -102,5 | 1030 | 3000 | -77,4 | 6 | 12,027µs | 3,4476µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -90  | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 2 | 12,014µs | 3,3548µs | 3,5873µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -90  | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 3 | 12,019µs | 3,3606µs | 3,6647µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -90  | -102,5 | 1030 | 3000 | -77,4 | 5 | 12,027µs | 3,3709µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -90  | -102,5 | 1030 | 2500 | -74,2 | 7 | 12,040µs | 3,3988µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 8500 | -95,5 | 2 | 12,004µs | 3,2293µs | 3,2801µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 8000 | -94,4 | 2 | 12,006µs | 3,2286µs | 3,2861µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 7500 | -93,3 | 2 | 12,006µs | 3,2288µs | 3,2946µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 7000 | -92   | 2 | 12,006µs | 3,2297µs | 3,3054µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 6500 | -90,8 | 2 | 12,006µs | 3,2294µs | 3,3171µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 6000 | -89,4 | 2 | 12,008µs | 3,2281µs | 3,3323µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 5500 | -87,9 | 2 | 12,009µs | 3,2299µs | 3,3522µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 2 | 12,010µs | 3,2313µs | 3,3784µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 2 | 12,012µs | 3,2307µs | 3,4150µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 2 | 12,016µs | 3,2330µs | 3,4645µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 2 | 12,021µs | 3,2366µs | 3,5381µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 3000 | -77,4 | 3 | 12,027µs | 3,2440µs | 3,6536µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -85  | -102,5 | 1030 | 2500 | -74,2 | 6 | 12,041µs | 3,2604µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -80  | -102,5 | 1030 | 2500 | -74,2 | 3 | 12,042µs | 3,0364µs | 3,6212µs | SI |
| 1052 | -60 | 1052 | -80  | -102,5 | 1030 | 2000 | -70,3 | 8 | 12,071µs | 3,0570µs | -        | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 5000 | -86,2 | 2 | 12,013µs | 2,6989µs | 2,8573µs | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 4500 | -84,4 | 2 | 12,015µs | 2,6962µs | 2,8907µs | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 4000 | -82,4 | 2 | 12,019µs | 2,6942µs | 2,9360µs | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 3500 | -80   | 2 | 12,022µs | 2,6905µs | 3,0030µs | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 3000 | -77,4 | 2 | 12,030µs | 2,6869µs | 3,1034µs | NO |
| 1052 | -60 | 1052 | -75  | -102,5 | 1030 | 2500 | -74,2 | 2 | 12,044µs | 2,6797µs | 3,2690µs | NO |

En la Tabla 19 se puede ver el efecto que producen las interferencias de MLT y de Onda Continua cuando estas últimas coinciden con la frecuencia del canal del DME, en particular para  $f_{DME}=f_{CW}=1052\text{MHz}$ .

El efecto que tiene la interferencia de Onda Continua se aprecia en **-75dBm de potencia de señal de Onda Continua** no proporciona detecciones correctas, ya que en la Tabla 12 se observa que cuando existe solamente interferencia de Onda Continua se producen detecciones incorrectas para ese nivel de potencia y cuando la frecuencia del canal del DME es igual a la de la interferencia de Onda Continua.

Mientras que para el resto de niveles de señal es un término medio entre lo que ocurre con interferencia de MLT solamente y lo que ocurre con interferencia de Onda Continua solamente. Observándose que:

- **Para -120dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 4500m**, que coincide con el resultado de la Tabla 13 para el valor de  $f_{DME}=1051\text{MHz}$ .
- **Para -100dBm, -105dBm, -110dBm y -115dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 3500m**.



- **Para -95dBm y -90dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 3000m**.
- **Para -85dBm y -80dBm** de potencia de Onda Continua disponible en el receptor, se precisará una separación de **al menos 2500m**.

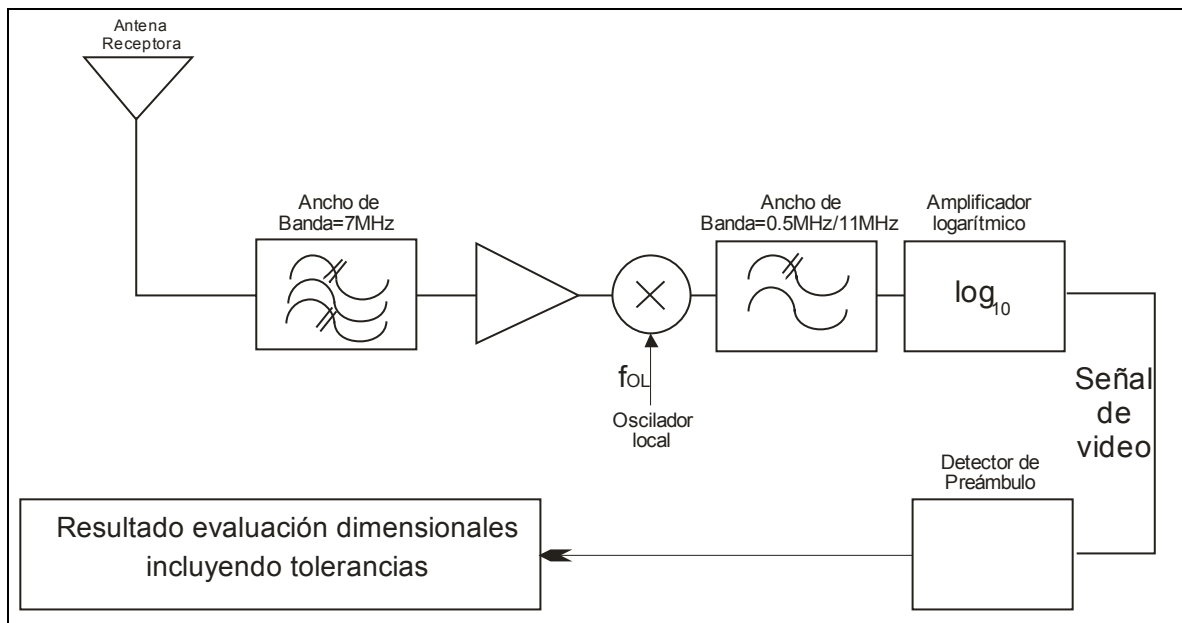
Se ha de resaltar que dichos resultados anteriores (Tabla 19) serán válidos para cuando la  $f_{DME-f_{MLT}}$  **esté entre 20 y 30MHz**, tras tratarse el cálculo de interferencias de los espurios del sistema de MLT.

Por lo tanto, se puede concluir de forma general, que para **-75dBm de potencia de señal de Onda Continua disponible en el receptor**, la señal de interferencia que predomina es la de Onda Continua, **comportándose de la misma manera que para el caso del apartado a)**. Mientras que a medida que se aumenta la potencia de señal de Onda Continua el comportamiento se va asemejando más al del apartado b) (en el que solamente se analizaban las interferencias de MLT), más concretamente hasta que la potencia de Onda Continua es igual a **-120dBm que se comporta como una interferencia de MLT solamente**.

#### 2.2.2.2 Modelo receptor sistema MLT de tierra

En la presente sección se explicará lo que puede ser un punto de partida para el diseño del receptor de multilateración. Se podría diseñar de forma similar al receptor DME, incluyendo:

- Un **filtro paso banda** inicial que elimine las componentes de frecuencia indeseadas de muy alta frecuencia y las componentes de baja frecuencia, seguido de un **amplificador**.
- Un **oscilador local** encargado de generar una señal de frecuencia 1090MHz, ya que esta es la frecuencia de recepción de los equipos de MLT de tierra.
- Un **filtro paso bajo** para eliminar las componentes de frecuencia no deseadas y adquirir solamente la banda base de la señal de MLT. Empleando los filtros diseñados en el análisis estático, véanse Ilustración 28 e Ilustración 29.
- Seguidamente, se introduce la señal en un **amplificador logarítmico**, encargado de equiparar los niveles de las señales que recibe el equipo de MLT.
- Finalmente, se tiene de un **detector de preámbulo**, es un punto fundamental en el receptor ya que si este es captado y analizado, se será capaz de obtener el bloque de datos que se recibirá 8µs después del primer pulso del preámbulo (véase Ilustración 19).



**Ilustración 87: Receptor de Tierra del sistema de Multilateración**

Hay que hacer notar que este receptor no es tan importante como el del receptor del DME, debido a que como ya se demostró en el análisis estático no afectarán las interferencias de la señal DME al tener un nivel de señal mucho menor que la sensibilidad del equipo receptor de MLT.

#### *2.2.2.2.1 Simulación con ruido, interferencia de onda continua e interferencia del DME.*

A continuación, se presenta una simulación realizada con el programa de Matlab para el presente, diseño preliminar receptor de MLT (ver Anexo 2-apartado6), en la que se incluirán las gráficas obtenidas en cada punto del receptor. Puede verse en la Ilustración 88 los datos introducidos para la realización de la presente simulación.



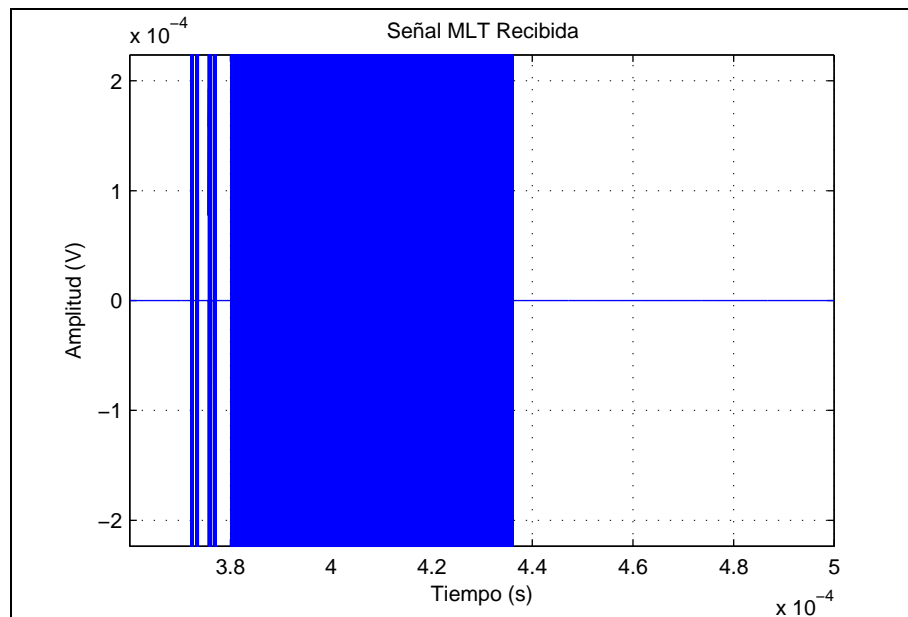
## Capítulo 2: DISEÑO

```
MATLAB Command Window 1 of 1
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1090e6Hz): 1090e6
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (962e6-1024e6Hz y 1151e6-1213e6Hz): 1024e6
introduzca 1 si es una RESPUESTA CORTA DE MLT(56bit) o 2 si es una RESPUESTA LARGA DE
MLT (112bit): 1
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 1
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de DME y 2 si es que no: 1
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 1
Introduzca la ganancia de la señal recibida de MLT en dBm (Señal recibida de la
aeronave): -60
Introduzca 1 si se trata de DME/N TERMINAL ó 2 si se trata de DME/N EN RUTA: 1
Introduzca 1 si quiere calcular la potencia de los espurios del DME en el RECEPTOR DE
MLT y 2 si es que NO: 1
Introduzca 1 si quiere la Potencia en ESPACIO LIBRE o 2 para CAMPO CORREGIDO: 2
Introduzca la distancia a la que se encuentran las antenas de DME y MLT en metros:
5000
Introduzca la frecuencia de CW en Hz: 1090e6
Introduzca la ganancia de la señal recibida de CW en dBm: -80
```

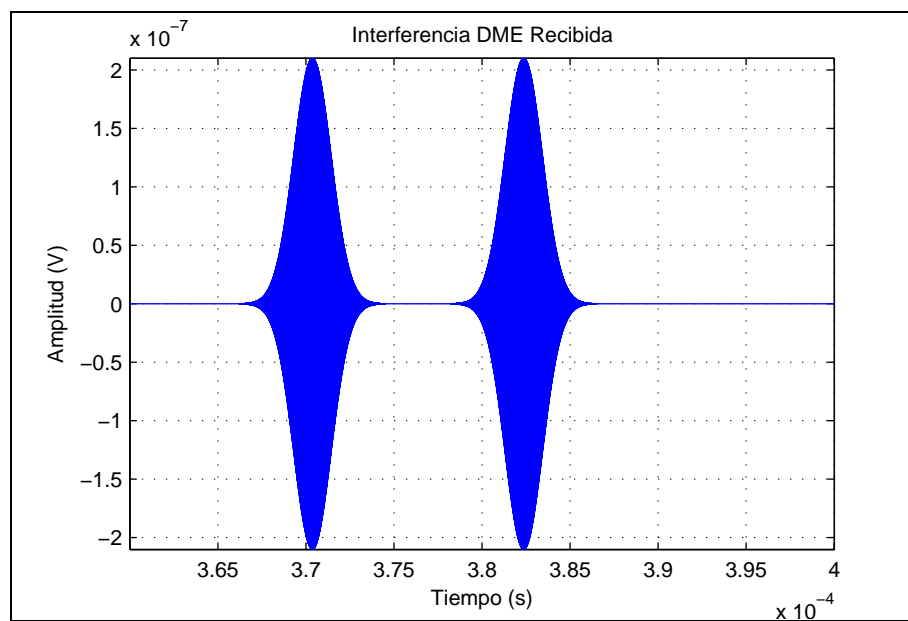
### Ilustración 88: Introducción Datos (Simulación con Ruido, CW y DME)

Inicialmente se explicarán las señales de entrada al receptor que están formadas por:

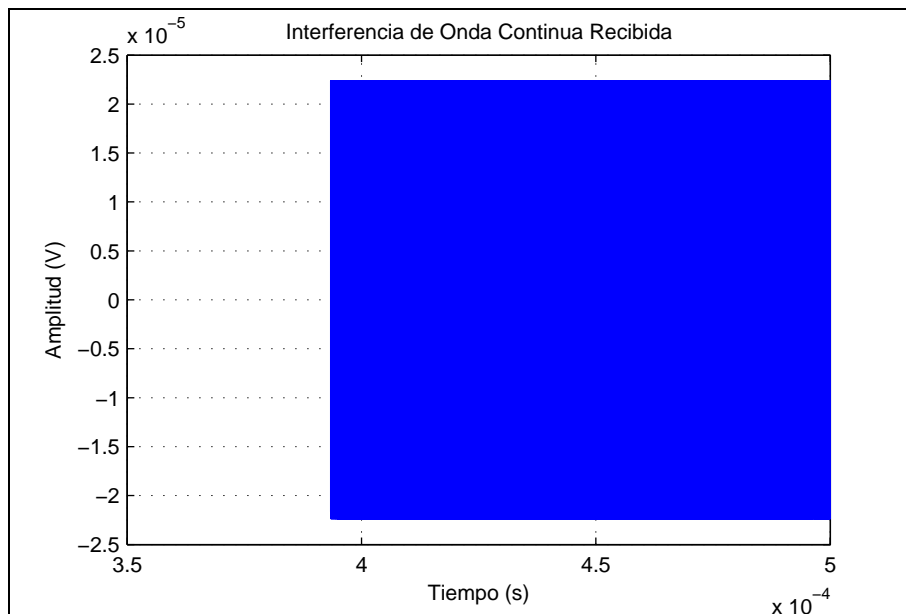
- **Señal MLT Recibida:** Dispone de un preámbulo y un bloque de datos como ya se ha explicado en el apartado 1.3.2, cuyas dimensiones y forma pueden verse en la Ilustración 19, donde se puede ver que el bloque de datos, situado a  $8\mu\text{s}$  del primer pulso del preámbulo, puede ser largo (112bits) o corto (56bits). El resultado de este modelo puede aparecer en la Ilustración 89.
- **Señal de interferencia de DME:** Se modela de la misma manera que en el caso del receptor DME explicado en el apartado anterior (véase Ecuación 10), los pulsos tendrán una forma Gaussiana. (Ilustración 90).
- **Señal de interferencia de Onda Continua:** Siendo una señal cosenoidal a la frecuencia del oscilador local, el resultado de la presente simulación puede verse en la Ilustración 91.



**Ilustración 89: Señal Recibida de MLT, Repuesta Corta**

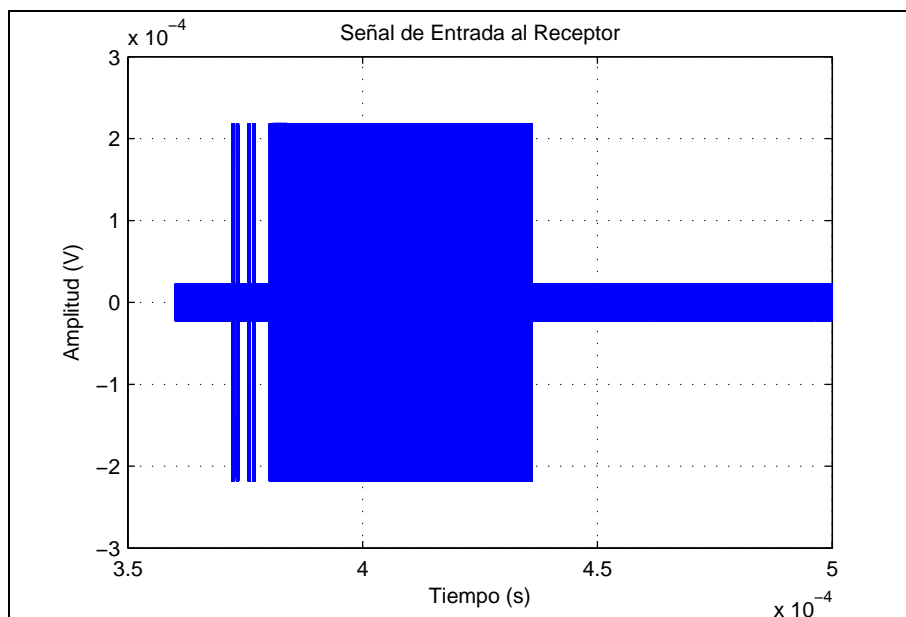


**Ilustración 90: Interferencia DME Recibida**



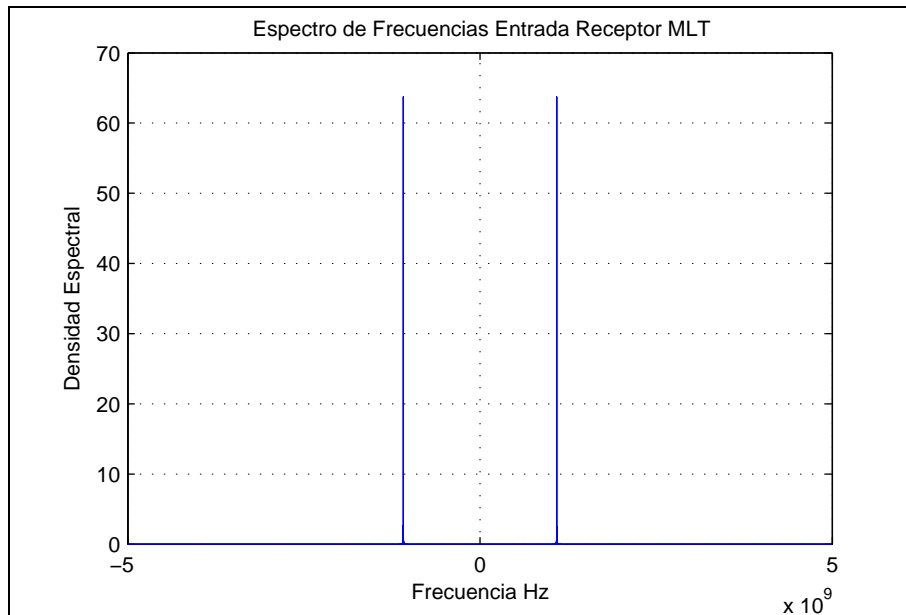
**Ilustración 91: Interferencia de CW Recibida**

Por lo tanto, se dispone de una señal en la antena del receptor, resultado de la suma de las señales expuestas previamente, cuyo resultado puede observarse en la Ilustración 92.



**Ilustración 92: Señal de Entrada al Receptor**

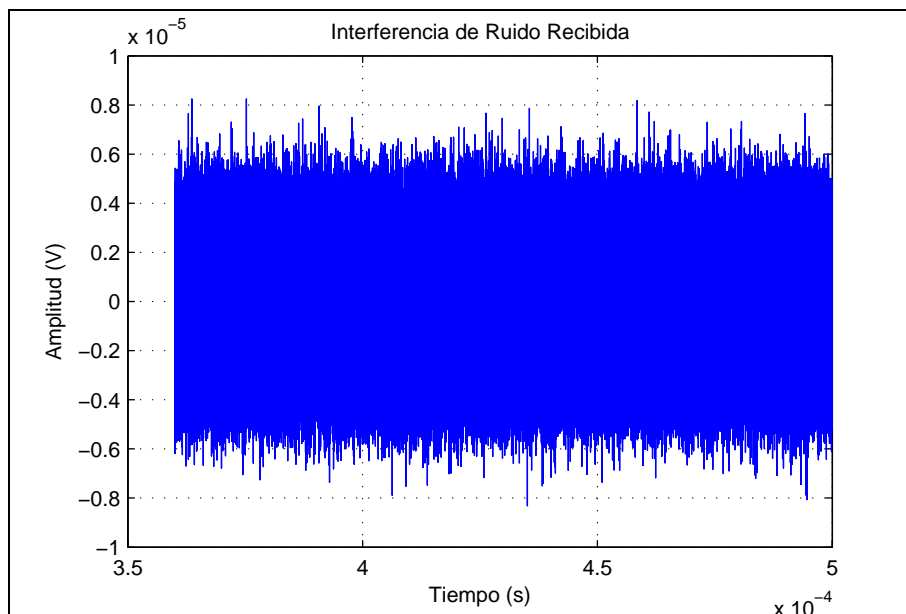
En cuanto al espectro de frecuencias (Ilustración 93), se observa que se dispone de una única componente de frecuencias situada en 1024MHz, ya que se han estudiado los espurios de la señal DME y así mismo la frecuencia de la señal de interferencia de MLT es también de 1024MHz.



**Ilustración 93: Espectro de Frecuencias Señal de Entrada**

Al igual que ocurría en el receptor del DME, se calcula el **ruido** mediante la expresión:  $P = K \cdot B \cdot T$ , donde:

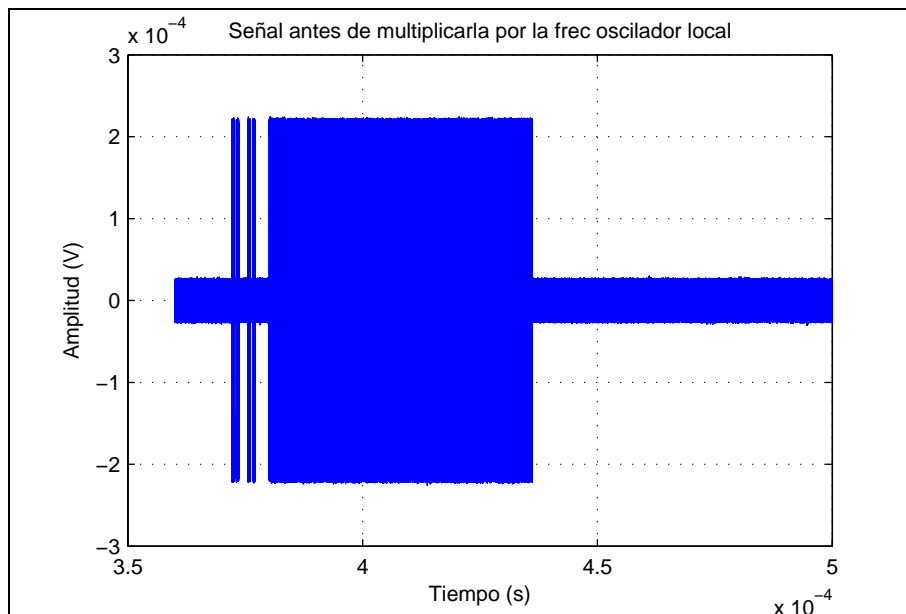
- K la constante de Boltzman ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K).
- B el ancho de banda expresado en Hz, viene impuesto por el ancho de banda del filtro paso banda, se ha supuesto para este modelo un valor de  $7 \cdot 10^6$  Hz.
- T es la temperatura en K (grados Kelvin), utilizando un valor de la misma de 290K.



**Ilustración 94: Interferencia de Ruido Recibida**

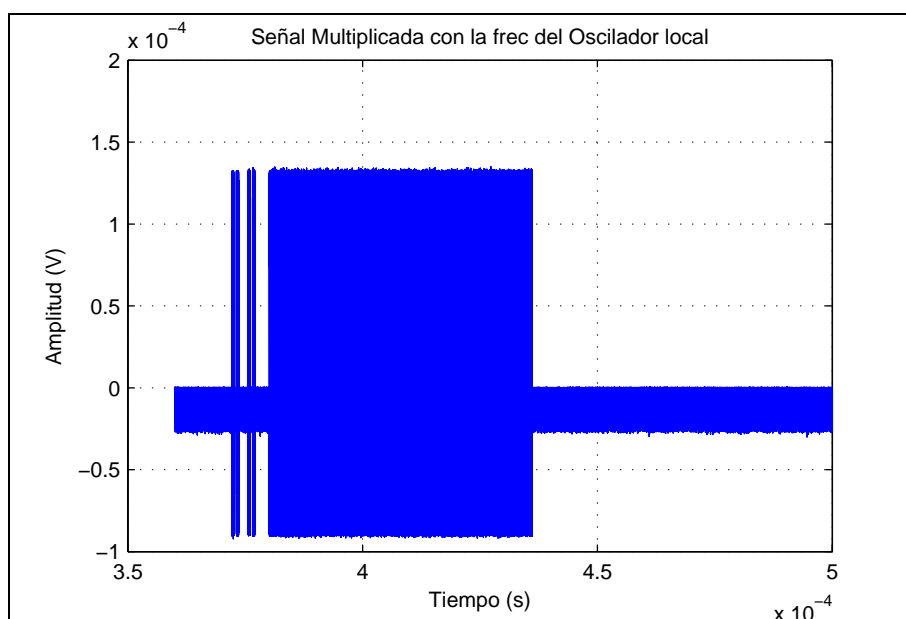
Seguidamente se añade el ruido, produciendo una distorsión en la forma cuadrada de la señal original, como puede observarse en la Ilustración 95.





**Ilustración 95: Señal Entrada Sumando el Ruido (Simulación con Ruido, CW y DME)**

Para poder adquirir la envolvente de la señal es necesario desplazar la señal de MLT a banda base, se produce tras la multiplicación de la señal anterior con una señal de salida del oscilador local (véase Ilustración 96).



**Ilustración 96: Señal multiplicada con la Señal Cosenoidal a la Frecuencia del Oscilador Local (Simulación con Ruido, CW y DME)**

El espectro de frecuencias, mostrado en la Ilustración 97, de la señal anterior estará formado por dos componentes: una a frecuencia cero y otra al doble de la frecuencia de MLT, puede comprobarse con la ayuda de la Ecuación 20 haciendo  $A=B$ .

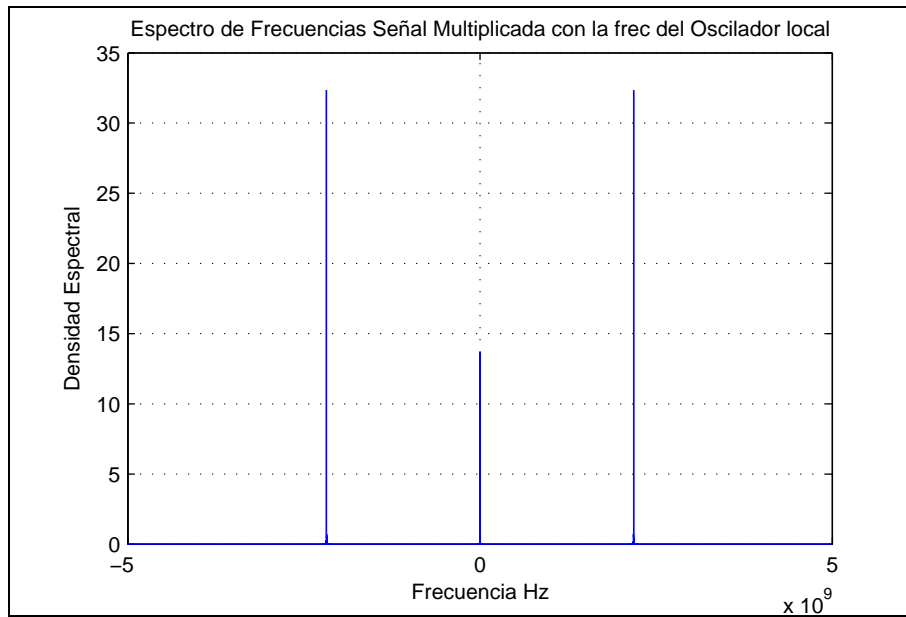


Ilustración 97: Espectro de Frecuencias Señal Previa al Filtrado (Simulación con Ruido, CW y DME)

Tras la multiplicación con la señal que sale del oscilador local se hace pasar por un **filtro paso bajo**, cuya curva de respuesta se muestra en la Ilustración 29, el cual dispone de una frecuencia de corte de 11MHz. Se observa una ligera distorsión de la forma de la señal sobre todo en el inicio de cada uno de los pulsos.

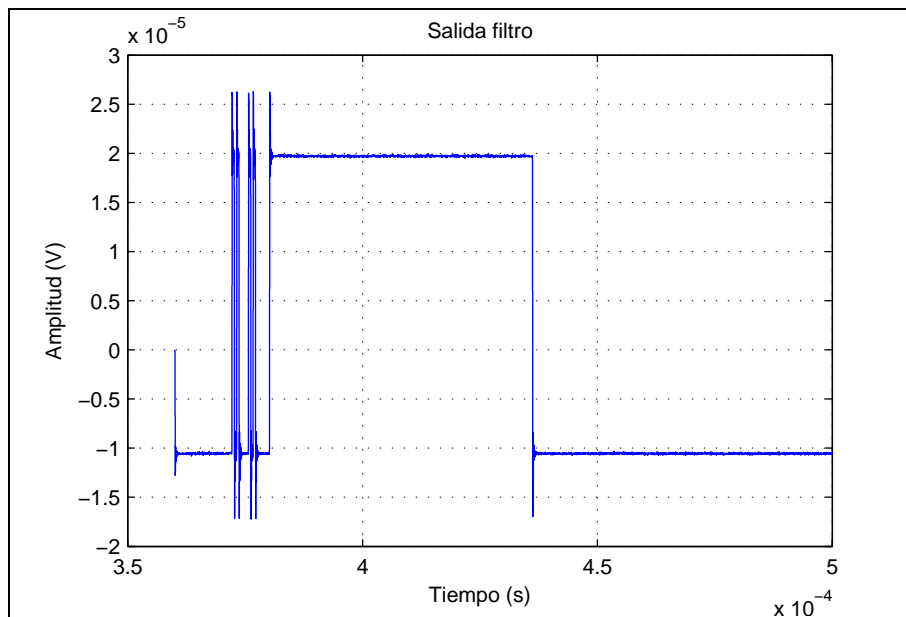


Ilustración 98: Señal Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y DME)

A continuación, se muestra el espectro de frecuencias de la señal anterior, donde la componente de alta frecuencia ha sido eliminada. Su representación puede observarse en la Ilustración 100.

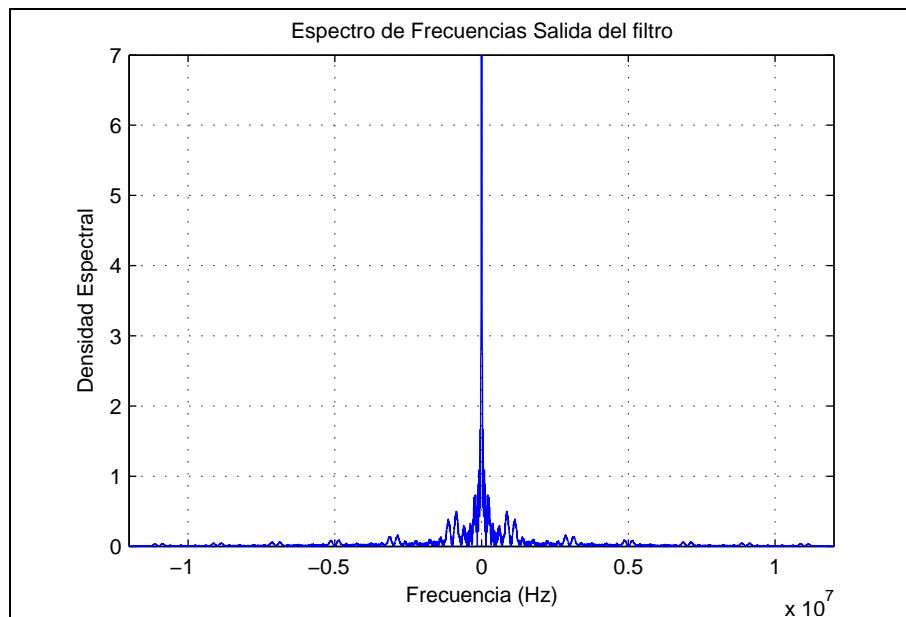


Ilustración 99: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación con Ruido, CW y DME)

Finalmente, se hace pasar la señal por el **amplificador logarítmico**, para homogeneizar las diferentes potencias de las mismas. En la Ilustración 100 puede apreciarse el resultado de dicho proceso, en el zoom realizado se observa en detalle la forma de los pares de pulsos del preámbulo, diferenciándose perfectamente la forma de los mismos. Estando preparada la señal para el **detector de preámbulo**.

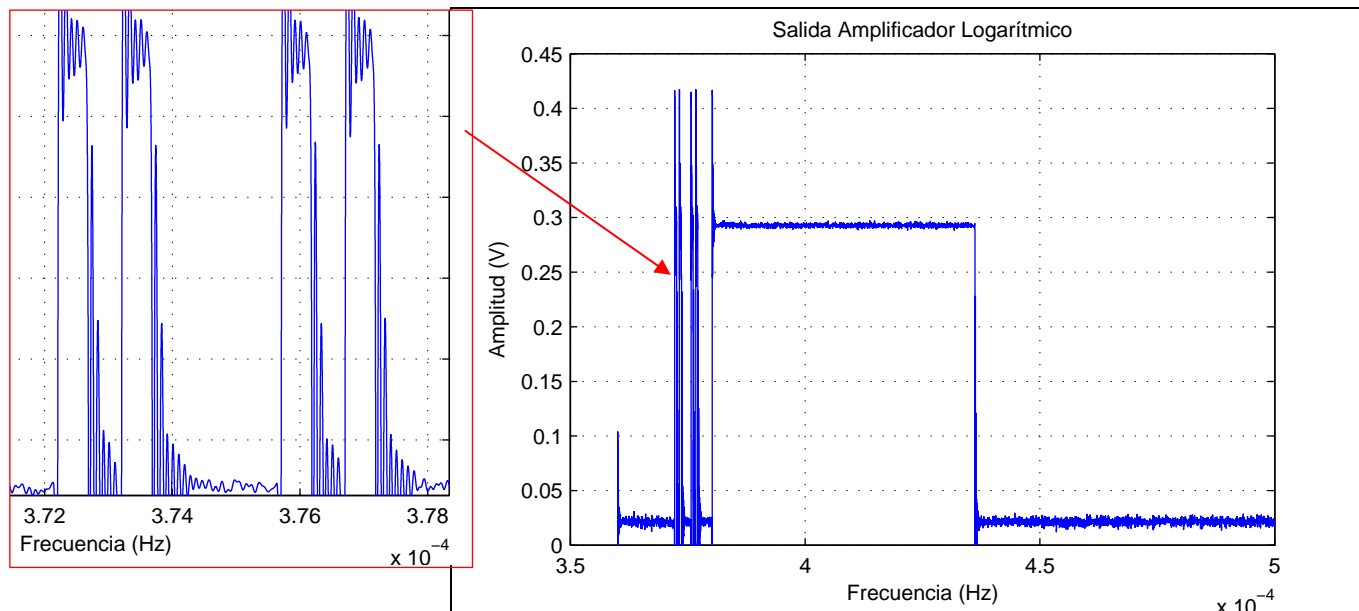


Ilustración 100: Señal de Salida Amplificador Logarítmico (Simulación con Ruido, CW y DME)

#### 2.2.2.2.2 Simulación sin interferencias

Con objeto de comparar la simulación anterior con las señales que se obtendrían si se careciera de interferencias de todo tipo, y así observar el comportamiento de las mismas en la señal de MLT.

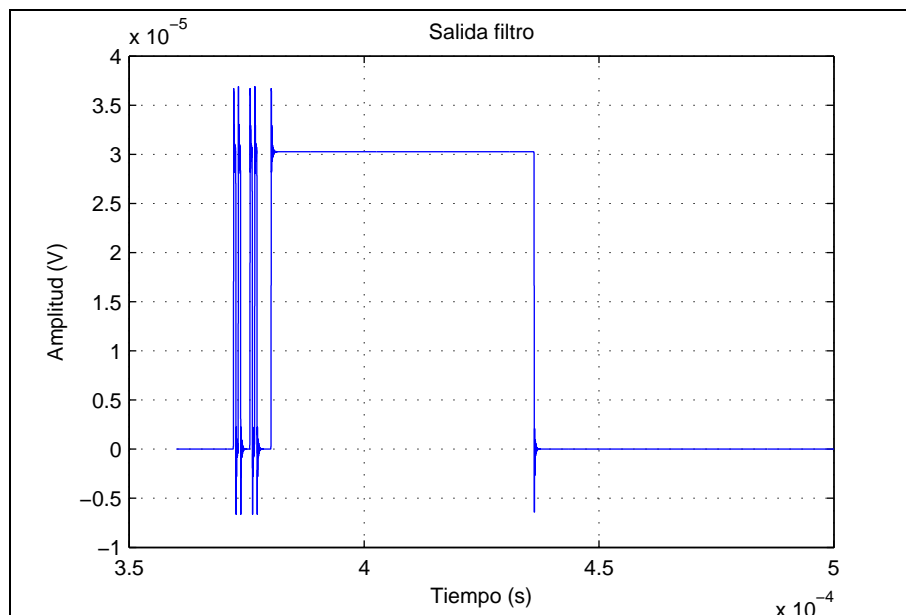


En la Ilustración 101 se puede ver los datos que es necesario introducir en el programa para realizar la simulación deseada.

```
MATLAB Command Window 1 of 1
Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1090e6Hz): 1090e6
Introduzca la frecuencia del DME en Hz (962e6-1024e6Hz y 1151e6-1213e6Hz): 1024e6
introduzca 1 si es una RESPUESTA CORTA DE MLT(56bit) o 2 si es una RESPUESTA LARGA DE
MLT (112bit): 1
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2 si es que no: 2
Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de DME y 2 si es que no: 2
Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no: 2
Introduzca la ganancia de la señal recibida de MLT en dBm (Señal recibida de la
aeronave): -60
```

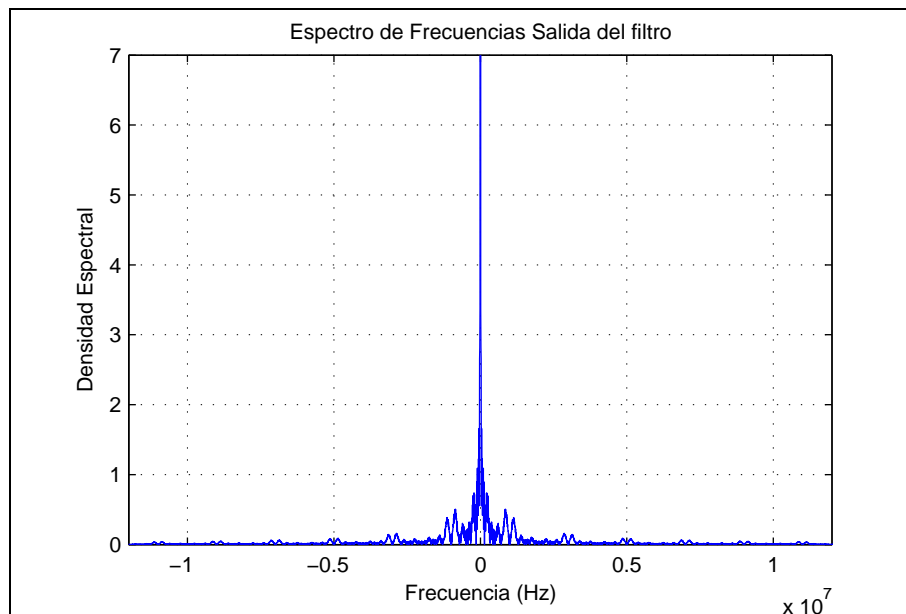
**Ilustración 101: Introducción Datos (Simulación sin Interferencias)**

Si se compara la Ilustración 98 con la Ilustración 102 se observa que son prácticamente iguales, con la única diferencia en las zonas de valor constante que en la primera se aprecia el efecto del ruido ya que el valor no es constante del todo, mientras que en la segunda, tras no existir este, el valor si es constante.



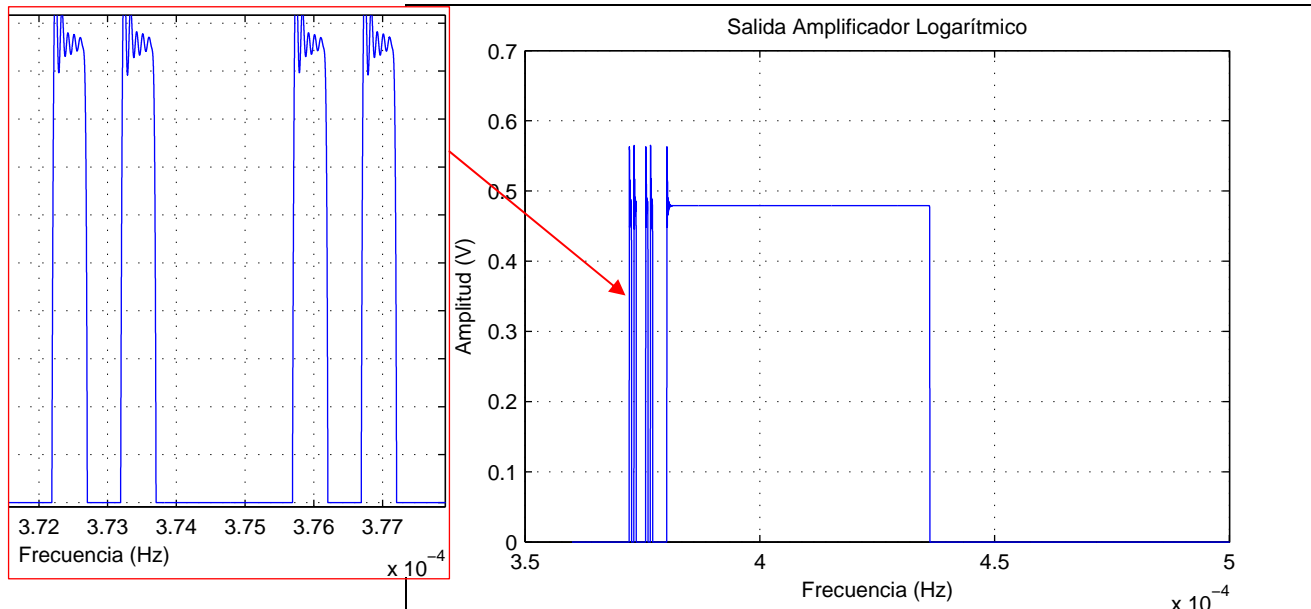
**Ilustración 102: Señal Salida Filtro (Simulación sin Interferencias)**

En cuanto a la diferencia entre los espectros, no se aprecia visualmente diferencia alguna, como se puede comprobar al observar la Ilustración 99 y la Ilustración 103.



**Ilustración 103: Espectro de Frecuencias Salida Filtro (Simulación sin Interferencias)**

Finalmente, analizando la salida del amplificador logarítmico se aprecia, como en el caso de la señal de salida del filtro, la única diferencia en los valores constantes de señal, pudiendo ser causados por el efecto del ruido o del resto de interferencias, mientras que la forma de los pares de pulsos del preámbulo parece permanecer constante.



**Ilustración 104: Señal de Salida Amplificador Logarítmico (Simulación sin Interferencias)**









# Capítulo 3:

## CONCLUSIÓN

Los sistemas de Multilateración proporcionan cobertura radar permitiendo a los organismos competentes realizar la función de vigilancia. Son una solución muy importante para zonas en las que no es posible instalar SSR debido a la orografía del terreno, por el efecto que produce la multitrayectoria. Siendo un sistema sencillo ya que se aprovecha del principio de funcionamiento del radar secundario, no siendo por tanto necesario ningún sistema adicional en las aeronaves.

Se han estudiado las interferencias que pueden existir entre los sistemas situados en las bandas próximas de frecuencia, haciendo hincapié en el medidor de distancias DME, con el fin de establecer una separación mínima entre antenas.

En el **ANÁLISIS ESTÁTICO** se realizó un estudio sobre la potencia disponible en el receptor, ya sea el receptor de Multilateración o el receptor DME, para el cual se ha hecho uso de diversos modos de propagación (espacio libre o campo corregido por efecto suelo).

En el caso del *receptor de Multilateración de tierra*, cuya frecuencia nominal de recepción es de 1090MHz y donde se ha supuesto una sensibilidad de -85dBm, se ha analizado la potencia disponible en el receptor de MLT. Obteniéndose que será necesaria una separación de la antena de transmisión del DME de tierra respecto a la antena de recepción de MLT de **870m** si se utiliza el modelo de propagación en el **espacio libre** y **650m** utilizando el modelo de propagación de **campo corregido por efecto suelo**, siendo válidos dichos resultados tanto para DME/N Terminal como para DME/N en ruta. Ha de darse cuenta que el modelo de propagación en el espacio libre es un caso ideal, siendo por lo tanto más real el caso calculado mediante el modelo de propagación con campo corregido por efecto suelo.

Si se estudia el nivel de la señal tras la aplicación de un filtro de Chebyshev de 6º orden y 22MHz de ancho de banda o de un filtro de Butterworth de 6º orden y de 22MHz de ancho de banda, se observa que el nivel de señal es muy inferior a la sensibilidad del equipo receptor de MLT, ya que las bandas de frecuencias de los canales de transmisión de las estaciones DME de tierra, que van de 962-1024MHz y de 1151-1213MHz siendo por lo tanto la más cercana la de 1024MHz ó la de 1151MHz separadas con respecto a la frecuencia de recepción del sistema de MLT de 1090MHz unos 60MHz, produciendo una atenuación en torno a los 130dB.

Por lo tanto se concluye que **las señales procedentes de las antenas DME de transmisión de tierra no afectan a las señales de recepción de las antenas del sistema de tierra de multilateración.**

En el caso del *receptor del DME de tierra* dispone de una sensibilidad de -91dBm para DME/N en ruta y -81dBm para DME/N terminal, y recibe en la banda de 1025-1087MHz y 1088-1150MHz. Analizado la potencia disponible en el receptor del DME

se ha obtenido que la separación empleando el modelo de propagación con campo corregido por efecto suelo y con los espurios de la señal de interferencia del DME:

- Para **1041-1050MHz** será necesaria una separación de **7380m** en el caso de tratarse de un **DME/N terminal** o de **13120m** para el caso de **DME/N en ruta**.
- Para **1051-1060MHz** se precisará una separación para **DME/N terminal** de **3700m** o de **6580m** en el caso de **DME/N en ruta**.
- Para **1061-1070MHz** se necesitará una separación entre antenas de **2480m** para **DME/N terminal** o de **4400m** para **DME/N en ruta**.
- Para **1071-1080MHz** será necesaria una separación de **1860m** con **DME/N terminal** y **3300m** en **DME/N en ruta**.
- Para **1081-1090MHz** se deberá separar al menos **1480m** en el caso de **DME/N terminal** y **2620m** para **DME/N en ruta**.
- Para frecuencias de recepción de DME **por encima de 1090MHz** se necesitará separar las antenas en el caso de tener un **DME/N terminal 1240m** y **2210m con DME/N en ruta**.

En el **ANÁLISIS DINÁMICO** se diseñó un modelo de receptor DME de tierra y receptor de Multilateración de tierra. Simulando el comportamiento de las distintas señales de entrada en cada una de las partes del receptor, y comprobando si es capaz de detectar los pulsos el receptor diseñado.

Se ha obtenido para el caso del *receptor del DME de tierra*, y una potencia de señal DME disponible en el receptor de -60dBm, extrapolándose los valores de forma que si aumentamos este nivel de señal, las distancias serán menores a las que se muestran a continuación, mientras que si se disminuye, las distancias serán mayores. Por lo tanto se ha obtenido para -60dBm de nivel de señal DME que:

- Si se tiene tan **sólo interferencia de Onda Continua**, afectará para **potencias disponibles en el receptor de señales de este tipo de interferencias, mayores o iguales a los -75dBm**.
- Si se tiene en el receptor tan **sólo interferencias de MLT**, se deberá separar la antena de recepción del DME de tierra respecto a la antena de transmisión de MLT:
  - Cuando la frecuencia del canal del DME esté entre **1041-1050MHz**, se deberá separar en al menos **8500m**.
  - Cuando la frecuencia del canal del DME está entre **1051-1060MHz**, se deberá separar en al menos **4500m** para poder detectar los pares de pulsos de la señal DME correctamente.
  - Si la frecuencia del canal del DME está entre **1061-1070MHz**, se deberá separar en al menos **3000m**.



- Si la frecuencia del canal del DME está entre **1071-1080MHz**, se deberá separar en al menos **2500m**.
- Si la frecuencia del canal del DME está entre **1081-1090MHz**, se deberá separar en al menos **2000m**.
- Si la frecuencia del canal del DME tiene un valor desde **1091MHz en adelante**, se deberá separar las antenas al menos **1500m**.
- Si se analizan los efectos con interferencia de Onda Continua y de Multilateración, dependerá de la potencia de ambas señales, llegándose a las siguientes conclusiones:
  - Si la frecuencia de la señal de Onda Continua difiere en al menos 1MHz, se obtienen los mismos resultados que en el apartado en el que sólo se incluye interferencias de Multilateración.
  - Si la frecuencia de Onda Continua es igual a la frecuencia del canal del DME, se tendrán tres posibles casos:
    - Si la potencia de la señal de Onda Continua es **igual o mayor a -75dBm**, se producen **detecciones incorrectas**.
    - Si la potencia de la señal de interferencia de Onda Continua está **entre -120dBm y -75dBm**. La distancia de separación que deberán tener las antenas irá aumentando a medida que disminuye la potencia de la señal de Onda continua hasta llegar a la distancia que tiene en el caso de interferencia de Multilateración solamente.
    - Si la potencia de la señal de Onda Continua es **menor o igual a -120dBm**, los resultados que se obtienen son los mismos que para el caso en el que solamente se tiene interferencia de Multilateración.

Por lo tanto y debido a que el valor más conservativo es el que se ha obtenido en el supuesto de tener interferencias de multilateración solamente, se tomarán dichas distancias como las que se necesitará separar en el estudio del análisis dinámico.

El caso del *receptor de MLT* carece de interés su realización debido a los resultados obtenidos en el análisis estático, ya que se concluyó que no se ven interferidos por el transmisor de tierra del DME.

Si se comparan los resultados del análisis dinámico con los del análisis estático, se observa que todos los valores obtenidos en el primero están ligeramente por encima del valor limitativo de distancia referido al DME/N terminal obtenido en el análisis estático y por debajo del obtenido para el DME/N en ruta del análisis estático.

Por lo tanto, se puede concluir que dichas distancias deben ser tenidas en cuenta a la hora de realizar los emplazamientos de las estaciones de multilateración, con el fin de evitar posibles interferencias con los sistemas DME.





---

## Capítulo 4: ACRÓNIMOS

|            |   |
|------------|---|
| ACAS       | Airborne Collision Avoidance Systems  |
| ACARS      | Aircraft Communications, Addressing and Reporting System                                      |
| ADS-B      | Automatic Dependent Surveillance-Broadcast  |
| AOC        | Aeronautical Operational Control  |
| AoC        | Area of Control   |
| A-SMGCS    | Advanced-Surface Movement Guidance and Control Systems  |
| ASPM       | Aeronautical Standard Propagation Model   |
| ATN        | Aeronautical Telecommunications Network   |
| CW         | Continuous Wave   |
| DME        | Distance Measuring Equipment  |
| FDMA       | Frequency Division Multiple Access  |
| FIR        | Finite Impulse Response   |
| GBAS       | Ground Based Augmentation System  |
| GNSS       | Global Navigation Satellite System  |
| GP         | Glide path  |
| GPS        | Global Positioning System   |
| GSM        | Global System for Mobile communications   |
| ICM        | Industriales, Científicos y Médicos   |
| IFF        | Identification Friend from FOE  |
| ILS        | Instrumental Landing System   |
| IM         | Inner Marker  |
| INS        | Inertial Navigation System  |
| JTIDS/MIDS | Join Tactical Information Distribution System/Multifunctional Information Distribution System |
| MLT        | Multilateration   |



## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

---

|           |  |
|-----------|--|
| MM        | Middle Marker                                |
| MSSR      | Monopulse Secondary Surveillance Radar       |
| NTP       | Network Time Protocol                        |
| OACI      | Organización de Aviación Civil Internacional |
| OM        | Outer Marker                                 |
| PED       | Personal Electronic Devices                  |
| PSR       | Primary Surveillance Radar                   |
| RSBN/PRMG | Radionavigacionaya Systema Bliznoj Navigacii |
| SMGCS     | Surface Movement Guidance Control System     |
| SSR       | Secondary Surveillance Radar                 |
| SUMLAT    | Surface Multilateration                      |
| TA        | Transponder Availability                     |
| TACAN     | Tactical Air Navigation System               |
| TDOA      | Time Difference Of Arrival                   |
| TDMA      | Time Division Multiple Access                |
| UAT       | Universal Access Transceiver                 |
| UTC       | Coordinated Universal Time                   |
| VHF       | Very High Frequency                          |
| VOR       | VHF Omnidirectional Radio                    |
| WAMLAT    | Wide Area Multilateration                    |
| WAN       | Wide Area Network                            |









---

## Capítulo 5: BIBLIOGRAFÍA

- [1] (Noviembre 1995). Sistemas y equipos para la navegación y circulación aérea. F.J. Sáez Nieto y M.A. Salamanca Bueno.
- [2] (2002). Electrónica y Aviónica. Ayudas a la navegación. Esteban Mendoza.
- [3] (1988). Secondary Surveillance Radar. Michael C. Stevens.
- [4] (1995). Transmisión por radio. José María Hernando Rábanos.
- [5] (23 Octubre 2008). AIP España. ENR 4.1.
- [6] (Julio 2006). Annex 10 to the convention on international Civil Aviation, Volumen I, Radio Navigation aids.
- [7] (Octubre 1992). EUROCAE, ED-57 "Minimum operational performance specification for DME ground equipment".
- [8] (Mayo 2004). Aeronautical radio system characteristics. DME/N
- [9] Framework for Spectrum Compatibility Analysis in L-Band for FCI technology Candidates.
- [10] (Tercera Edición, 2004). OACI. Manual sobre sistemas del radar secundario de vigilancia (SSR) (doc 9684 an951).
- [11] (Noviembre 2004). "Wide Area Multilateration"- Report on EATMP TRS 131/04, Version 1.0, NLR.
- [12] (Julio 2007). Annex 10, to the Convention on International Civil Aviation, Volume IV, Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems.
- [13] (Febrero 2003). Sistema de multilateración Modo S. División Navegación y Vigilancia AENA.
- [14] IEEE C63.22 "American National Standard Guide for Automated Electromagnetic Interference Measurements".
- [15] 17 Diciembre 1997). Investigation of Interference Sources and Mechanism for Eurocontrol by Smith System Engineering Limited.
- [16] DME transponders systems specifications annexed to the proposals on Aena Calls for Tenders for the installation of VOR/DME or ILS/DME.



- [17] (Julio 2006). "WAM Active Interrogator Analysis"- EUROCONTROL Contract N° C/1.207/03/EC/TRS097/05, QinetiQ.
- [18] (Febrero 2004). Proposal for a general methodology for compatibility analysis of aeronautical radio systems including the determination of frequency and distance separation for radio systems.
- [19] (Octubre 2002). Análisis de redes y sistemas de comunicaciones. Xavier Hesselbach Serra y Jordi Altés Bosch.
- [20] <http://www.dbsant.com/DME.php>
- [21] [http://www.grupoemte.com/ficha\\_obra.php?id\\_obra=15](http://www.grupoemte.com/ficha_obra.php?id_obra=15)
- [22] [http://www.grupoemte.com/ficha\\_obra.php?id\\_obra=18](http://www.grupoemte.com/ficha_obra.php?id_obra=18)
- [23] <http://www.sra.com/era/multilateration.php>

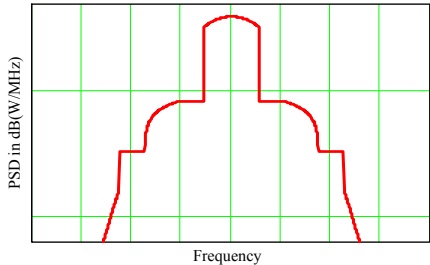
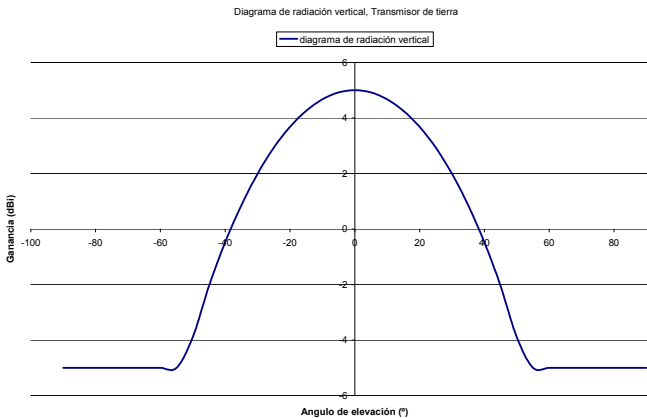






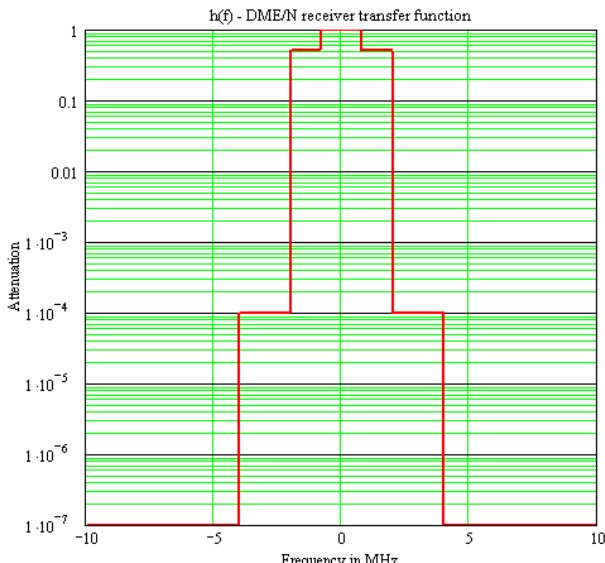
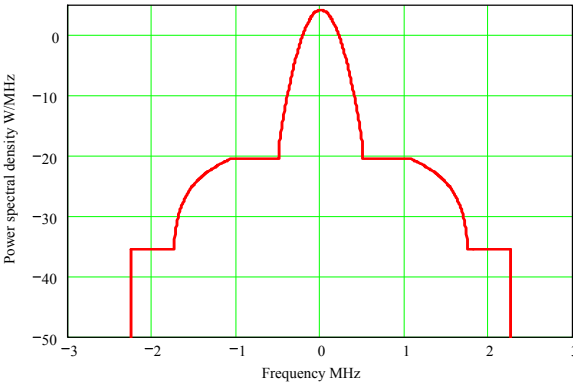
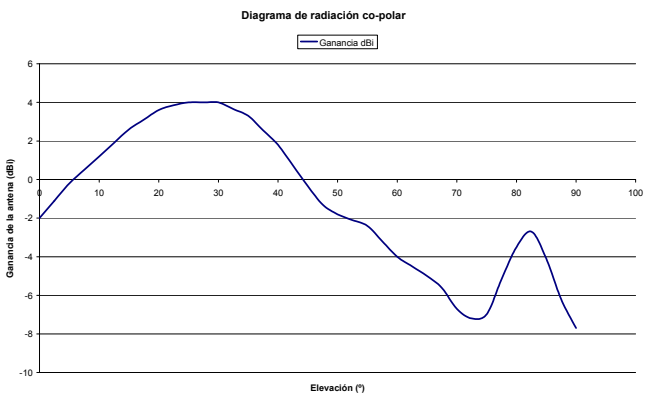
# Anexo 1: Tabla Resumen DME/N

Tabla 20: Resumen características DME/N. [8]

| Transmisor de Tierra              |  |
|-----------------------------------|--|
| Frecuencia de portadora           | 962-1213MHz; 1X/Y-126X/Y   |
| Potencia de salida del transmisor | 26dBW-37dBW  |
| Densidad espectral de potencia    |    |
| Alimentador de pérdidas           | 3dB  |
| Diagrama de radiación             |  |
| Receptor de tierra                |  |
| Frecuencia recibida               | 1025-1151MHz; 1X/Y-126X/Y  |
| Diagrama de radiación             | Mirar diagrama de radiación transmisor   |
| Línea alimentador de pérdidas     | 3dB  |

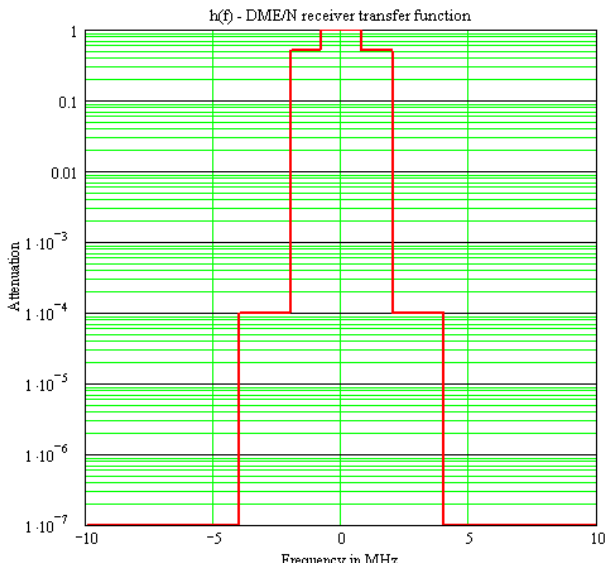


## Criterios De Emplazamiento Para Estaciones De Multilateración

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Función de transferencia       |    |
| Sensibilidad                   | -128dBW  |
| Criterio de Protección         | S/I 8dB después del filtro   |
| Potencia de Ruido              | -106dBm  |
| Figura de ruido                | 9dB  |
| Transmisor de abordó           |  |
| Frecuencia de portadora        | 1025-1151MHz; 1X/Y-126X/Y  |
| Potencia de salida             | 27dBW  |
| Densidad espectral de potencia |  |
| Alimentador de pérdidas        | 4dB  |
| Diagrama de radiación          |  |
| Receptor de abordó             |  |
| Frecuencia recibida            | 962-1213MHz; 1X/Y-126X/Y   |
| Diagrama de radiación          | Mirar diagrama de radiación transmisor   |
| Línea alimentador de pérdidas  | 4dB  |



## Capítulo 2: ANEXO 1

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Función de transferencia  |    |
| Sensibilidad del Receptor | DME/N (Terminal)=-81dBm; DME/N(en Ruta)=-91dBm   |
| Criterio de protección    | S/I 8dB después del filtro; 8dB para co-frecuencia, mismo espaciado entre pares de pulsos; -45dB para co-frecuencia, diferente espaciado entre pares de pulsos |
| Potencia de ruido         | -108dBm  |
| Figura de ruido           | 8dB  |











# Anexo 2:

## Programación Matlab

### 1. Modelo señal transmitida DME/N

Programa modelo propuesto señal transmitida del DME/N como entrada a la antena del equipo de tierra del DME realizado en Matlab, que ha sido desarrollado para el caso a) del apartado 2.2.1.1:

```
clear all
Pt1=100; %100W en area terminal
Pt2=1000; %1000W para ruta
alfa=4.5e11; %en s^-2
fdme=1054e6; %en Hz utilizando segun Anexo 10 OACI ejemplo 77X en
respuesta y tb el 30X en interrogacion
fi=0; %se ha supuesto desfase inicial=0
inctpp=12e-6; %segundos para DME/N en modo X
t=0:0.5e-7:4e-4; %en segundos
tk=1/2700;%considerando la frecuencia de emisión de pulsos de 2700
(ciclo útil constante)
Spp=exp(-alfa.*(t-tk).^2)+exp(-alfa.*((t-tk)-inctpp).^2);
Sdme1=(Pt1^0.5).*Spp; %potencia transmitida en area terminal
Sdme2=(Pt2^0.5).*Spp; %potencia transmitida en ruta
figure(1)
plot(t,Sdme1)
title('Modelo Pt=100W del DME/N como entrada de la antena del
transpondedor del DME')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud')
axis ([3.6e-4 3.9e-4 0 10])
figure(2)
plot(t,Sdme2)
title('Modelo Pt=1000W del DME/N como entrada de la antena del
transpondedor del DME')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud')
axis ([3.6e-4 3.9e-4 0 35])
```

### 2. Modelo Filtro Butterworth

A continuación se establecerá el modelo del filtro de Butterworth del equipo receptor del sistema de MLT.

```
close all % Cierra todas las ventanas.
clear all % Borra todas las variables del espacio de trabajo.
clc % Limpia la pantalla.
```

```
n=6;
Wn=[22e6]/2e8;
[b,a]=butter(n,Wn,'low') % Coeficientes del filtro (función butter).
freqz(b,a,128,2e8) % Respuesta en frecuencia (función freqz)
tf(b,a)
```

### 3. Filtro Chebyshev

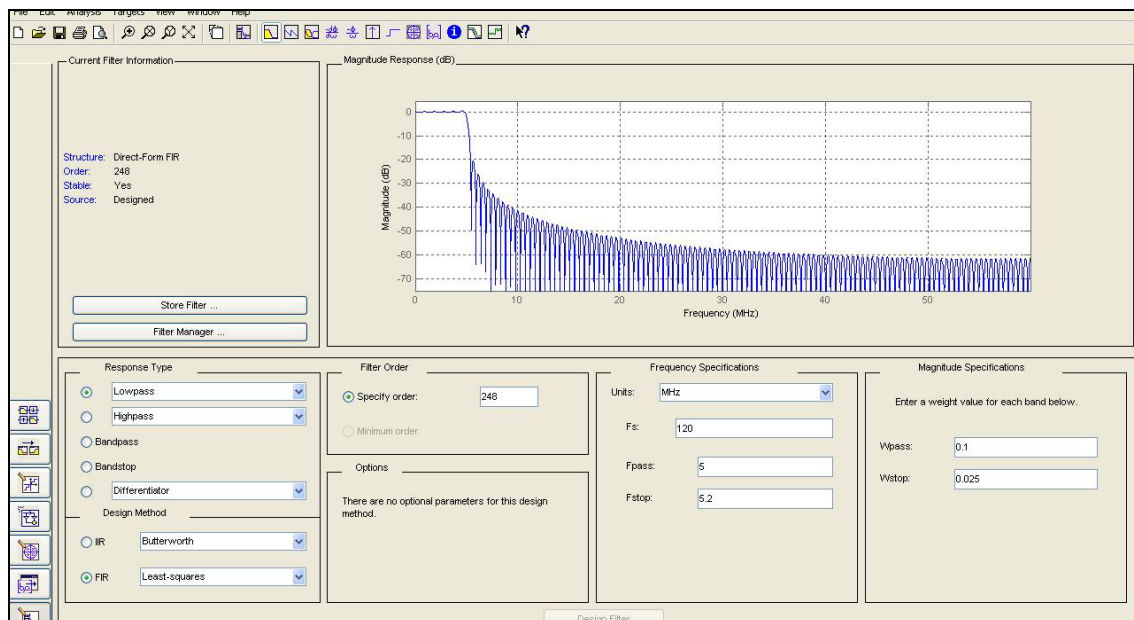
Se muestra el código de la programación para la realización del filtro de Chebyshev de orden 6 del receptor de MLT.

```
close all % Cierra todas las ventanas.
clear all % Borra todas las variables del espacio de trabajo.
clc % Limpia la pantalla.

n=6;
R=0.5;
Wp=[22e6]/2e8;
[b,a] = CHEBY1(n,R,Wp,'low')
freqz(b,a,128,2e8) % Respuesta en frecuencia (función freqz)
tf(b,a)
```

### 4. Filtro digital FIR

A continuación se muestra la imagen obtenida en el diseño del presente filtro de la herramienta de Matlab “Filter Design & Analysis Tool”, con 248 coeficientes y una frecuencia de paso de 5MHz.



La cual genera el m-file que se expresa en el párrafo siguiente, y que nos permitiría aplicar dicho filtro a la señal que se desee filtrar, mediante la función de matlab *filter*.

```
function Hd = Filtro_MLT3
%FILTRO_MLT3 Returns a discrete-time filter object.
```



```
%  
% M-File generated by MATLAB(R) 7.7 and the Signal Processing Toolbox  
6.10.  
%  
% Generated on: 09-Jul-2009 12:27:57  
%  
  
% FIR least-squares Lowpass filter designed using the FIRLS function.  
  
% All frequency values are in MHz.  
Fs = 120; % Sampling Frequency  
  
N = 248; % Order  
Fpass = 5; % Passband Frequency  
Fstop = 5.2; % Stopband Frequency  
Wpass = 0.1; % Passband Weight  
Wstop = 0.025; % Stopband Weight  
  
% Calculate the coefficients using the FIRLS function.  
b = firls(N, [0 Fpass Fstop Fs/2]/(Fs/2), [1 1 0 0], [Wpass Wstop]);  
Hd = dfilt.dfir(b);  
  
% [EOF]
```

## 5. Receptor DME

### 5.1 Entradas al programa

```
close all  
clear all  
clc  
  
fMLT=input('Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1030e6Hz): ');  
fDME=input('Introduzca la frecuencia del DME en Hz (1025e6-  
1040e6{Reservados},1041e6-1087e6Hz y 1088e6-1150e6Hz): ');  
b2=input('Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2  
si es que no: ');  
b3=input('Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de MLT y 2  
si es que no: ');  
b4=input('Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no:  
Nivel_DME=input('Introduzca la ganancia de la señal recibida del DME  
en dBm (Señal recibida de la aeronave): ');  
if b3==1  
    fel2=input('Introduzca 1 si quiere calcular la potencia de los  
espurios de MLT en el RECEPTOR DEL DME y 2 si es que NO: ');  
    b=input('Introduzca 1 si P6 CORTO(16,25e-6s) o 2 si P6  
LARGO(30,25e-6s): ');  
    B=input('Introduzca 1 si quiere la Potencia en ESPACIO LIBRE o 2  
para CAMPO CORREGIDO: ');  
    d=input('Introduzca la distancia a la que se encuentran las antenas  
de DME y MLT en metros: ');  
elseif b3==2  
    fel2=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos  
interferencia MLT
```

```
d=5000; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia MLT
b=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia MLT
B=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia MLT
end
if b2==1
    fCW=input('Introduzca la frecuencia de CW en Hz: ');
    Nivel_CW=input('Introduzca la ganancia de la señal recibida de CW
en dBm: ');
    Nivel_CW=-70; %Ya que nos dará igual su valor porque no tenemos
interferencia CW
    fCW=1035e6; %Ya que nos dará igual su valor porque no tenemos
interferencia CW
end
```

## 5.2 Envoltente del espectro de frecuencias de la respuesta del sistema de MLT (ver Ilustración 14)

```
%%Envoltente Espectro Frecuencias MLT
if abs(fDME-fMLT)<=4e6
    PatenMLT=0; %1er tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>4e6 && abs(fDME-fMLT)<=6e6
    PatenMLT=-6; %2º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>6e6 && abs(fDME-fMLT)<=8e6
    PatenMLT=-11; %3º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>8e6 && abs(fDME-fMLT)<=10e6
    PatenMLT=-15; %4º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>10e6 && abs(fDME-fMLT)<=20e6
    PatenMLT=-19; %5º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>20e6 && abs(fDME-fMLT)<=30e6
    PatenMLT=-31; %6º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>30e6 && abs(fDME-fMLT)<=40e6
    PatenMLT=-38; %7º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>40e6 && abs(fDME-fMLT)<=50e6
    PatenMLT=-43; %8º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>50e6 && abs(fDME-fMLT)<=60e6
    PatenMLT=-47; %9º tramo envoltente en dB
elseif abs(fDME-fMLT)>60e6
    PatenMLT=-50; %10º tramo envoltente en dB
end
```

## 5.3 Cálculo potencia MLT disponible en el receptor DME (ver 2.2.1.1-apartado d)

```
%%Cálculo Potencia Disponible en el Receptor DME
c=3e8; %Velocidad de la luz en el vacío en m/s
if fel2==1
    f2=fDME;
elseif fel2==2
    f2=fMLT;
end
l2=c/f2; %longitud de onda expresada en metros
% d=100:10:5e3; %Distancia en metros
```



```
PtMLT=1200; %Potencia de transmisión del equipo MLT de tierra en W
GDME2=8; %Ganancia del receptor del equipo DME de tierra en dB
gDME=10^(GDME2/10); %Ganancia DME en unidades
GMLT=7.5; %Ganancia del transmisor de tierra de MLT en dB
gMLT=10^(GMLT/10); %Ganancia del transmisor de tierra de MLT en
unidades
pdrelMLT=(1000*(12^2)*gDME*gMLT*PtMLT)./(4*pi*d.^2); %Potencia
disponible en el Receptor ESPACIO LIBRE en mW
PdRelMLT=10*log10(pdrelMLT); %Potencia disponible en el Receptor
ESPACIO LIBRE en dBm
hDME=3.5; %Altura antena DME en metros
hMLT=3; %Altura antena MLT en metros
Lcable=2; %Pérdida de los cables en dB
lcable=10^(Lcable/10); %Pérdida de los cables en unidades
Lsenal=2; %Pérdida de la señal en dB
lsenal=10^(Lsenal/10); %Pérdida de la señal en unidades
pdrccMLT=(1000*PtMLT*gDME*gMLT*(hDME*hMLT)^2)./(lcable*lsenal*d.^4); %
Potencia disponible en el Receptor CAMPO CORREGIDO en mW
PdRccMLT=10*log10(pdrccMLT); % Potencia disponible en el Receptor
CAMPO CORREGIDO en dBm
if fel2==1
    PdRelMLT=PdRelMLT+PatenMLT; %al utilizar una frecuencia espurea se
tiene que tener en cuenta la envolvente de frecuencias
    PdRccMLT=PdRccMLT+PatenMLT;
    fMLT=fDME; %Ya que al considerar los espureos, la frecuencia del
MLT pasa a ser la nominal del receptor DME
end

if B==1
    Nivel_MLT=PdRelMLT;
elseif B==2
    Nivel_MLT=PdRccMLT;
end
fm=1e10; %frecuencia de muestreo
tsup=4e-4;%Intervalo superior
tinf=3.6e-4;%Intervalo inferior
t=tinf:1/fm:tsup; %en segundos
tk=1/2700;%considerando la frecuencia de emisión de pulsos de 2700
(ciclo útil constante)
Zo=50; % Impedancia de la antena
```

### 5.4 Señales de entrada al receptor DME

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%ENTRADA RECEPTOR DME%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%SEÑAL DME
alfa_DME=4.5e11; %en s^-2
inctpp_DME=12e-6; %segundos para DME/N en modo X
% At1=tk+inctpp_DME-3.5e-6/2-tk-inctpp_DME; %t-tk-inctpp=(tk+inctpp-
3.5e-6/2)-tk-inctpp
% alfa_DME=(-log(0.001))./(At1^2);
G_DME=10^(Nivel_DME/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal DME
en W
G_DME_V=sqrt(G_DME*Zo); % ya que P=V^2/Zo, en V
```



```
Spp_DME=exp(-alfa_DME*(t-tk).^2)+exp(-alfa_DME*((t-tk)-
inctpp_DME).^2)); %pulsos DME normalizados
Spp_mod_DME=Spp_DME.*cos(2*pi()*fDME*(t-tk)); %pulsos DME normalizados
y modulados
S_DME=Spp_mod_DME.*G_DME_V; %en V
figure(1)
plot(t,S_DME)
title('Señal DME Recibida')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
axis([3.6e-4 3.95e-4 -G_DME_V G_DME_V])
grid

%%SEÑAL MLT
G_MLT=10^(Nivel_MLT/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal MLT
en W
G_MLT_V=sqrt(G_MLT*Zo); % ya que P=V^2/Zo, en V
tr=tk+3.5e-6/2;%tiempo de retardo del pulso de MLT
tf1=find(t>tr,1);
tf2=find(t>tr+0.8e-6,1);
tf3=find(t>tr+2e-6,1);
tf4=find(t>tr+2.8e-6,1);
tf5=find(t>tr+3.5e-6,1);
if b==1
    tf6=find(t>tr+19.75e-6,1);
else
    tf6=find(t>tr+33.75e-6,1);
end
tf7=length(t);
Spp_MLT=[zeros(1,tf1) ones(1,tf2-tf1) zeros(1,tf3-tf2) ones(1,tf4-tf3)
zeros(1,tf5-tf4) ones(1,tf6-tf5) zeros(1,tf7-tf6)];
%En el pulso P6 no se han introducido los cambios de fase ya que no
%afectarían a nivel de interferencias con la señal del DME
Spp_mod_MLT=Spp_MLT.*cos(2*pi()*fMLT*(t-tk)); %pulsos MLT normalizados
y modulados
S_MLT=Spp_mod_MLT.*G_MLT_V; %en V
if b3==1
    figure(2)
    plot(t,S_MLT)
    title('Interferencia MLT Recibida')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end

%%ONDA CONTINÚA
G_CW=10^(Nivel_CW/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal CW en
W
G_CW_V=sqrt(G_CW*Zo); % ya que P=V^2/Zo, en V
S_CW=cos(2*pi()*fCW*t)*G_CW_V; % Señal de onda continua en W
if b2==1
    figure(3)
    plot(t,S_CW)
    title('Interferencia de Onda Continua Recibida')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end
```





## Capítulo 2: ANEXO 2

```
%SEÑAL DE ENTRADA A LA ANTENA RECEPTORA DE TIERRA DEL DME
if b2==1
    %No hacer nada
else
    S_CW=0;
end

if b3==1
    %No hacer nada
else
    S_MLT=0;
end
S=S_DME+S_MLT+S_CW;
if b2==1 && b3==1 || b2==1 || b3==1
    figure(4)
    plot(t,S)
    title('Señal de Entrada al Receptor')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end

%%ESPECTRO FRECUENCIAS SEÑAL DE ENTRADA A LA ANTENA RECEPTORA DE
TIERRA DEL DME
y1=abs(fftshift(fft(S)));
n=-fm/2:((fm/2)-(-fm/2))/(length(y1)-1):fm/2; % cambiar eje x en Hz
figure(5)
plot(n,y1)
title('Espectro de Frecuencias señal de entrada a la antena receptora
de tierra del DME')
xlabel('Frecuencia Hz')
ylabel('Densidad Espectral')
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%SEÑAL TRAS PASAR LA ANTENA, EL FILTRO PASO BANDA (7MHz) Y EL AMPLIFICADOR%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%RUIDO BLANCO GAUSIANO
BW=7e6;%Ancho de banda, Filtro pasa banda después de la antena en Hz
PR=1.38e-23*BW*290*1000; %Pot Ruido=KBT tras multiplicar por 1000
estarán en mW
pr=10*log10(PR); % en dBm
Nivel_RUIDO=pr+3; %Ya que hay que añadir 3dB de la Figura de Ruido del
paso banda y el amplificador, NR en dBm
S_RUIDO=wgn(1,length(S_DME),Nivel_RUIDO,50,'dBm'); %en Voltios con
Zo=50 Ohmios
if b4==1
    figure(6)
    plot(t,S_RUIDO)
    title('Interferencia de Ruido')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end

%INTRODUCCIÓN DE RUIDO
if b4==1
    %No hacer nada
```

```
else
    S_RUIDO=0;
end
Se_ol=S+S_RUIDO;
figure(7)
plot(t,Se_ol)
title('Señal antes de multiplicarla por la frec oscilador local')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid
```

## 5.5 Señales tras la multiplicación con la frecuencia del oscilador local

```
%%%%%%%%%%%%%%
%%%OSCILADOR LOCAL%%
%%%%%%%%%%%%%%

%%MULTIPLICACIÓN OSCILADOR LOCAL
Sef=Se_ol.*cos(2*pi()*fDME*t);
for m0=1:length(t)-1%para evitar que salgan los pulsos negativos ya
que alteraría la solución de la medidas dimensionales de los mismos
    if t(m0)>=tk && t(m0+1)<=tk || t(m0)<=tk && t(m0+1)>=tk
        if Sef(m0)>0
        else
            Sef=-Sef;
        end
    end
end
% Sef=Se_ol.*cos(2*pi()*fDME*t+pi); %en caso de salir los pulsos hacia
abajo comentar los 9 comandos anteriores y NO COMENTAR esta línea
figure(8)
plot(t,Sef)
title('Señal Multiplicada con la frec del Oscilador local')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%ESPECTRO FRECUENCIAS ENTRADA FILTRO
y2=abs(fftshift(fft(Sef)));
figure(9)
plot(n,y2)
title('Espectro de Frecuencias Señal Multiplicada con la frec del
Oscilador local')
xlabel('Frecuencia Hz')
ylabel('Densidad Espectral')
grid
```

## 5.6 Filtro paso bajo

```
%%%%%%%%%%
%%%FILTRO%%
%%%%%%%%%%

%F1 Returns a discrete-time filter object.
```



```
% M-File generated by MATLAB(R) 7.7 and the Signal Processing Toolbox
6.10.
% Generated on: 08-Jul-2009 22:55:41
% Chebyshev Type I Lowpass filter designed using FDESIGN.LOWPASS.
% All frequency values are in Hz.
Fs=fm; % Frecuencia de Muestreo
N=8; % Orden del Filtro
Fpass=0.5e6; % Passband Frequency
Apass=0.5; % Passband Ripple (dB)
% Construct an FDESIGN object and call its CHEBY1 method.
h1=fdesign.lowpass('N,Fp,Ap', N, Fpass, Apass, Fs);
Hd1=design(h1, 'cheby1');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Aplicación del Filtro%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
s1=filter(Hd1,Sef); %Señal filtrada
figure(10)
plot(t,s1)
title('Salida filtro')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%Espectro después de aplicar el filtro
y3=abs(fftshift(fft(s1)));
figure(11)
plot(n,y3)
title('Espectro de Frecuencias Salida del filtro')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Densidad Espectral')
% axis([-12e6 12e6 0 7])
grid
```

## 5.7 Amplificador logarítmico

```
%eliminación posibilidad de que s1<0 para evitar s2 imaginario
pp0=find(s1<0);
s1(pp0)=zeros(1,length(pp0));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Amplificador Logarítmico%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ce_al=7.708; %1/cero del amplificador logarítmico, me desplaza el eje
y hacia abajo al aumentar este valor y deja los pulsos en valores
positivos
s2=log10(ce_al*2*s1/max(s1)); %se normaliza la señal s1 para que no
varíe cuando se cambie la potencia de la señal
pp=find(s2<0);
s2(pp)=zeros(1,length(pp));
figure(12)
plot(t,s2)
title('Salida Amplificador Logarítmico')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%Espectro después de aplicar el filtro
```

```
y3=abs(fftshift(fft(s2)));  
figure(13)  
plot(n,y3)  
title('Espectro de Frecuencias Salida del amplificador logarítmico')  
xlabel('Frecuencia (Hz)')  
ylabel('Densidad Espectral')  
grid
```

## 5.8 Detector de pico

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%Buscar el máximo (Derivada de s2)%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
s2(2:end)=s2(1:end-1)-s2(2:end);  
s3=s2;  
figure(14)  
plot(t,s3)  
title('Derivada señal salida Amplificador Logarítmico')  
xlabel('Frecuencia (Hz)')  
ylabel('Amplitud (V)')  
grid  
  
%Repetimos la señal de los pulsos despues del amplificador log  
s2=log10(ce_al*2*s1/max(s1));  
pp=find(s2<0);  
s2(pp)=zeros(1,length(pp));  
  
%Nivel máximo de pulsos salida ampl log  
nor=max(s2,[],2);%Valor máximo de los pulsos en Voltios (V)  
nor_W=nor^2/50;%Valor máximo de los pulsos en Vatios (W), ya que  
P=V^2/Zo  
Sensib_W=(10^(-91/10))/1000;%Sensibilidad del equipo receptor DME en  
dBm [-81dBm DME/N terminal y -91dBm DME/N en ruta]  
  
%BUSQUEDA DE LOS POSIBLES PULSOS  
tk2=[];% Nos da los 0 de la derivada de s2 que serán nuestros posibles  
pulsos  
for i=1:length(t)-1;  
    if s3(i)<=0 && s3(i+1)>0  
        if abs(s3(i))>abs(s3(i+1))  
            tk2=[tk2 t(i+1)];%como tk2 es un vector vacío tengo que  
poner en el corchete tk2 para que me meta el valor anterior  
            %y si encuentra otro lo meta, ejemplo  
tk2(i+1)=[8];tk(i+2)=[8 1] ya que introduce un valor nuevo.  
        else  
            tk2=[tk2 t(i)];  
        end  
    end  
end  
  
S_c=[];%Para calcular la posición en el vector t de los puntos tk2  
encontrados para sacar los valores de la función s2 en esos puntos  
for i1=1:length(tk2)  
    S1_tk2=find(t==tk2(i1));  
    S_c=[S_c S1_tk2];  
end
```



```
S_tk2=[]; %Valores de s2 de cada uno de los puntos de tk2
for x1=1:length(S_c)
    S_tk2=[S_tk2 s2(S_c(x1))];
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%COMPROBACIÓN%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tc=[];%Serán los valores que cumplen las tolerancias de distancia
entre puntos
tc_j=[]; %Nos dice la posición en el vector tk2 [minuyendo ya que
tk2(j)-tk2(k)] de los que cumplen las tolerancias de separación entre
pulsos
tc_k=[]; %Nos dice la posición en el vector tk2 [sustraendo ya que
tk2(j)-tk2(k)]de los que cumplen las tolerancias de separación entre
pulsos
for k=1:length(tk2)-1
    for j=k+1:length(tk2)
        if tk2(j)-tk2(k)<=12.1e-6 && tk2(j)-tk2(k)>=11.9e-6
%Separación entre pulsos 12+-0.1e-6
            Separacion_Entre_Pulsos=tk2(j)-tk2(k);
            tc=[tc Separacion_Entre_Pulsos];
            tc_j=[tc_j j];
            tc_k=[tc_k k];
        end
    end
end

S_tc_j=[];% Valores de la función s2 de los que solamente cumplen las
tolerancias de los 12e-6s de separación de pares de pulsos
S_tc_k=[];
for x2=1:length(tc_j)
    S_ttj=S_tk2(tc_j(x2));
    S_ttk=S_tk2(tc_k(x2));
    S_tc_j=[S_tc_j S_ttj]; %para meterlo en ese vector
    S_tc_k=[S_tc_k S_ttk]; %para meterlo en ese vector
end

%Eliminación de los niveles de señal que estén por debajo del 50% del
máximo
S_tk3_j=[];%Valores de s2 de los que cumplen el nivel de señal
tc2_j=[];%Posición en el vector Stc_j del valor que cumple el nivel de
la señal
S_tk3_k=[];%los que cumplen el nivel de señal
tc2_k=[];%Posición en el vector Stc_k del valor que cumple el nivel de
la señal
for x3=1:length(S_tc_j)
    if S_tc_j(x3)>=0.5*max(s2)
        S_tk3_j=[S_tk3_j S_tc_j(x3)];
        tc2_j=[tc2_j x3];
    end
    if S_tc_k(x3)>=0.5*max(s2)
        S_tk3_k=[S_tk3_k S_tc_k(x3)];
        tc2_k=[tc2_k x3];
    end
end
```

```
for z=1:length(tc2_j)
    ao=tk2(tc_j(tc2_j(z)))-tk2(tc_k(tc2_j(z)));
    if ao>=11.9e-6 && ao<=12.1e-6
        Separacion_entre_pulsos=('Separación entre pulsos DENTRO
de tolerancias')
        Separacion_Entre_Pulsos=ao
    ('
____')
    else
        Separacion_entre_pulsos=('Separación entre pulsos FUERA de
tolerancias')
    ('
____')
    end
end
```

### 5.9 Análisis ancho de pulsos y presentación de resultados

```
%Comprobación Ancho de los pulsos
tk3_k=[];
for x4=1:length(tc2_k)
    pp2=S_c(tc_k(tc2_k(x4)))-fm*2e-6;%calculando el número de muestras
que habrá en esos 2e-6seg para 2e-6 será x
    pp3=S_c(tc_k(tc2_k(x4)))+fm*2e-6;%calculando el número de muestras
que habrá en esos 2e-6seg para 2e-6 será x
    for i2=pp2:pp3;
        if (s2(i2)<=S_tk3_k(x4)/2 &&
s2(i2+1)>=S_tk3_k(x4)/2) || (s2(i2)>=S_tk3_k(x4)/2 &&
s2(i2+1)<=S_tk3_k(x4)/2)
            if s2(i2)>s2(i2+1)
                tk3_k=[tk3_k t(i2+1)];
            else
                tk3_k=[tk3_k t(i2)];
            end
        end
    end
end
if isempty(tk3_k) || length(tk3_k)==1
    Ancho_Primer_pulso=('Ancho del PRIMER pulso FUERA de tolerancias')
('
____')
end
for z2=1:length(tk3_k)-1
    a2=tk3_k(z2+1)-tk3_k(z2);
    if a2>=3e-6 && a2<=4e-6 %Ancho del pulso a 50% de la
Amplitud(V)max 3.5+-0.5e-6
        Ancho_Primer_pulso=('Ancho del PRIMER pulso DENTRO de
tolerancias')
        a2
    ('
____')
    else
```



## Capítulo 2: ANEXO 2

```
Ancho_Primer_pulso=('Ancho del PRIMER pulso FUERA de
tolerancias')
a2

('
__')
end
end

tk3_j=[];
for x5=1:length(tc2_j)
    pp4=S_c(tc_j(tc2_j(x5)))-fm*2e-6;%calculando el número de muestras
    que habrá en esos 2e-6seg para 2e-6 será x
    pp5=S_c(tc_j(tc2_j(x5)))+fm*2e-6;%calculando el número de muestras
    que habrá en esos 2e-6seg para 2e-6 será x
    for i3=pp4:pp5;
        if (s2(i3)<=S_tk3_j(x5)/2 &&
s2(i3+1)>=S_tk3_j(x5)/2)||(s2(i3)>=S_tk3_j(x5)/2 &&
s2(i3+1)<=S_tk3_j(x5)/2)
            if s2(i3)>s2(i3+1)
                tk3_j=[tk3_j t(i3+1)];
            else
                tk3_j=[tk3_j t(i3)];
            end
        end
    end
end
if isempty(tk3_j)||length(tk3_j)==1
    Ancho_Segundo_pulso=('Ancho del SEGUNDO pulso FUERA de
tolerancias')

('
__')
end
for z3=1:length(tk3_j)-1
    a3=tk3_j(z3+1)-tk3_j(z3);
    if a3>=3e-6 && a3<=4e-6 %Ancho del pulso a 50% de la
Amplitud(V)max 3.5+-0.5e-6
        Ancho_Segundo_pulso=('Ancho del SEGUNDO pulso DENTRO de
tolerancias')
        a3

('
__')
else
    Ancho_Segundo_pulso=('Ancho del SEGUNDO pulso FUERA de
tolerancias')
    a3

('
__')
end
end
```

## 6. Receptor MLT

### 6.1 Entradas al programa

```
close all
clear all
clc

fMLT=input('Introduzca la frecuencia de MLT en Hz (1090e6Hz): ');
fDME=input('Introduzca la frecuencia del DME en Hz (962e6-1024e6Hz,
1085-1103MHz[Reservados] y 1151e6-1213e6Hz): ');
b=input('introduzca 1 si es una RESPUESTA CORTA DE MLT(56bit) o 2 si
es una RESPUESTA LARGA DE MLT (112bit): ');
b2=input('Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de CW y 2
si es que no: ');
b3=input('Introduzca 1 si quiere introducir INTERFERENCIAS de DME y 2
si es que no: ');
b4=input('Introduzca 1 si quiere introducir RUIDO y 2 si es que no:
');
Nivel_MLT=input('Introduzca la ganancia de la señal recibida de MLT en
dBm (Señal recibida de la aeronave): ');
if b3==1
    A=input('Introduzca 1 si se trata de DME/N TERMINAL ó 2 si se
trata de DME/N EN RUTA: ');
    fel=input('Introduzca 1 si quiere calcular la potencia de los
espurios del DME en el RECEPTOR DE MLT y 2 si es que NO: ');
    B=input('Introduzca 1 si quiere la Potencia en ESPACIO LIBRE o 2
para CAMPO CORREGIDO: ');
    d=input('Introduzca la distancia a la que se encuentran las
antenas de DME y MLT en metros: ');
elseif b3==2
    fel=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia DME
    d=5000; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia DME
    B=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia DME
    A=1; %Ya que nos dará igual su valor porque no tendremos
interferencia DME
end
if b2==1
    fCW=input('Introduzca la frecuencia de CW en Hz: ');
    Nivel_CW=input('Introduzca la ganancia de la señal recibida de CW
en dBm: ');
elseif b2==2
    Nivel_CW=-70; %Ya que nos dará igual su valor porque no tenemos
interferencia CW
    fCW=1090e6; %Ya que nos dará igual su valor porque no tenemos
interferencia CW
end
```





## 6.2 Envoltente del espectro de frecuencias del DME/N Terminal/en Ruta

```
%%Envoltente Espectro Frecuencias DME
if A==1
    B1=-37; %2º y 3º Tramo envoltente espectro frec, en dB para DME/N
    TERMINAL
    C1=-55; %4º y 5º Tramo envoltente espectro frec, en dB para DME/N
    TERMINAL
elseif A==2
    B2=-47; %2º y 3º Tramo envoltente espectro frec, en dB para DME/N
    EN RUTA
    C2=-65; %4º y 5º Tramo envoltente espectro frec, en dB para DME/N
    EN RUTA
end

%DME/N TERMINAL
if abs(fMLT-fDME)<=0.25e6 && A==1
    PatenDME=0; %1er tramo envoltente en dB
elseif fMLT-fDME>0.25e6 && fMLT-fDME<=0.8e6 && A==1
    PatenDME=-(fMLT-fDME-0.25e6)*(B1/(0.8e6-0.25e6)); %2º Tramo en
    el que fMLT>fDME
elseif fDME-fMLT>0.25e6 && fDME-fMLT<=0.8e6 && A==1
    PatenDME=(fDME-fMLT-0.25e6)*(B1/(0.8e6-0.25e6)); %2º Tramo en
    el que fMLT<fDME
elseif abs(fMLT-fDME)>0.8e6 && abs(fMLT-fDME)<=1.05e6 && A==1
    PatenDME=B1; %3er Tramo
elseif fMLT-fDME>1.05e6 && fMLT-fDME<=2e6 && A==1
    PatenDME=B1+((C1-B1)/(2e6-1.05e6))*((fMLT-fDME)-1.05e6); %4º
    Tramo en el que fMLT>fDME
elseif fDME-fMLT>1.05e6 && fDME-fMLT<=2e6 && A==1
    PatenDME=B1+((C1-B1)/(2e6-1.05e6))*((fDME-fMLT)-1.05e6); %4º
    Tramo en el que fMLT<fDME
elseif abs(fMLT-fDME)>2e6 && A==1
    PatenDME=C1; %5º Tramo
end

%DME/N EN RUTA
if abs(fMLT-fDME)<=0.25e6 && A==2
    PatenDME=0; %1er tramo envoltente en dB
elseif fMLT-fDME>0.25e6 && fMLT-fDME<=0.8e6 && A==2
    PatenDME=-(fMLT-fDME-0.25e6)*(B2/(0.8e6-0.25e6)); %2º Tramo en
    el que fMLT>fDME
elseif fDME-fMLT>0.25e6 && fDME-fMLT<=0.8e6 && A==2
    PatenDME=(fDME-fMLT-0.25e6)*(B2/(0.8e6-0.25e6)); %2º Tramo en
    el que fMLT<fDME
elseif abs(fMLT-fDME)>0.8e6 && abs(fMLT-fDME)<=1.05e6 && A==2
    PatenDME=B2; %3er Tramo
elseif fMLT-fDME>1.05e6 && fMLT-fDME<=2e6 && A==2
    PatenDME=B1+((C2-B2)/(2e6-1.05e6))*((fMLT-fDME)-1.05e6); %4º
    Tramo en el que fMLT>fDME
elseif fDME-fMLT>1.05e6 && fDME-fMLT<=2e6 && A==2
    PatenDME=B1+((C2-B2)/(2e6-1.05e6))*((fDME-fMLT)-1.05e6); %4º
    Tramo en el que fMLT<fDME
elseif abs(fMLT-fDME)>2e6 && A==2
    PatenDME=C2; %5º Tramo
End
```



### 6.3 Cálculo de Potencia disponible en el receptor del sistema de MLT

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Potencia de interferencia DME en el RECEPTOR DE MLT (1090MHz)%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if A==1
    PtDME=100; %Potencia del DME/N TERMINAL en W
elseif A==2
    PtDME=1000; %Potencia del DME/N TERMINAL en W
end

%Cálculo Potencia Disponible en el Receptor MLT
c=3e8; %Velocidad de la luz en el vacío en m/s
if fel==1
    f=fMLT;
elseif fel==2
    f=fDME;
end
l=c/f; %longitud de onda expresada en metros
GDME=12; %Ganancia del transmisor del equipo DME de tierra en dB
gDME=10^(GDME/10); %Ganancia DME en unidades
gMLT=1; %Ganancia del RECEPTOR de MLT
pdrelDME=(1000*(l^2)*gDME*gMLT*PtDME)./(4*pi*d).^2; %Potencia
disponible en el Receptor ESPACIO LIBRE en mW
PdRelDME=10*log10(pdrelDME); %Potencia disponible en el Receptor
ESPACIO LIBRE en dBm
hDME=3.5; %Altura antena DME en metros
hMLT=3; %Altura antena MLT en metros
pdrccDME=(1000*PtDME*gDME*gMLT*(hDME*hMLT)^2)./d.^4; % Potencia
disponible en el Receptor CAMPO CORREGIDO en mW
PdRccDME=10*log10(pdrccDME); % Potencia disponible en el Receptor
CAMPO CORREGIDO en dBm
if fel==1
    PdRelDME=PdRelDME+PatenDME; %al utilizar una frecuencia espurea se
tiene que tener en cuenta la envolvente de frecuencias
    PdRccDME=PdRccDME+PatenDME;
    fDME=fMLT; %Ya que al considerar los espureos la frecuencia del
DME pasa a ser la nominal del receptor MLT
elseif fel==2
    %No hacer nada
end

if B==1
    Nivel_DME=PdRelDME;
elseif B==2
    Nivel_DME=PdRccDME;
end

fm=1e10; %frecuencia de muestreo
t=3.6e-4:1/fm:5e-4; %en segundos
tk=1/2700;%considerando la frecuencia de emisión de pulsos del DME de
2700 (ciclo útil constante)
Zo=50; % Impedancia de la antena
```



## 6.4 Señales de entrada al receptor MLT

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%ENTRADA RECEPTOR MLT%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%SEÑAL MLT
G_MLT=10^(Nivel_MLT/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal MLT
en W
G_MLT_V=sqrt(G_MLT*Zo); % ya que  $P=V^2/Z_o$ , en V
tr=tk+3.5e-6/2;%tiempo de retardo del pulso de MLT
tf1=find(t>tr,1);
tf2=find(t>tr+0.5e-6,1);
tf3=find(t>tr+1e-6,1);
tf4=find(t>tr+1.5e-6,1);
tf5=find(t>tr+3.5e-6,1);
tf6=find(t>tr+4e-6,1);
tf7=find(t>tr+4.5e-6,1);
tf8=find(t>tr+5e-6,1);
tf9=find(t>tr+8e-6,1);
if b==1
    tf10=find(t>tr+64e-6,1);
else
    tf10=find(t>tr+120e-6,1);
end
tf11=length(t);
Spp_MLT=[zeros(1,tf1) ones(1,tf2-tf1) zeros(1,tf3-tf2) ones(1,tf4-tf3)
zeros(1,tf5-tf4) ones(1,tf6-tf5) zeros(1,tf7-tf6) ones(1,tf8-tf7)
zeros(1,tf9-tf8) ones(1,tf10-tf9) zeros(1,tf11-tf10)];
%En el pulso P6 no se han introducido los cambios de fase ya que no
%afectarían a nivel de interferencias con la señal del DME
Spp_mod_MLT=Spp_MLT.*cos(2*pi()*fMLT*(t-tk)); %pulsos MLT normalizados
y modulados
S_MLT=Spp_mod_MLT.*G_MLT_V;
figure(1)
plot(t,S_MLT)
title('Señal MLT Recibida')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
axis([3.6e-4 5e-4 -G_MLT_V G_MLT_V])
grid

%%SEÑAL DME
alfa_DME=4.5e11; %en  $s^{-2}$ 
inctpp_DME=12e-6; %segundos para DME/N en modo X
G_DME=10^(Nivel_DME/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal DME
en V
G_DME_V=sqrt(G_DME*Zo); % ya que  $P=V^2/Z_o$ , en V
Spp_DME=exp(-alfa_DME*(t-tk).^2)+exp(-alfa_DME*((t-tk)-
inctpp_DME).^2)); %pulsos DME normalizados
Spp_mod_DME=Spp_DME.*cos(2*pi()*fDME*(t-tk)); %pulsos DME normalizados
y modulados
S_DME=Spp_mod_DME.*G_DME_V; %en V
if b3==1
    figure(2)
    plot(t,S_DME)
    title('Interferencia DME Recibida')
    xlabel('Tiempo (s)')
```



```
ylabel('Amplitud (V)')
axis([3.6e-4 4e-4 -G_DME_V G_DME_V])
grid
end

%%ONDA CONTINÚA
G_CW=10^(Nivel_CW/10)/1000; %Nivel de potencia en mW de la señal CW en
W
G_CW_V=sqrt(G_CW*Zo); % ya que  $P=V^2/Zo$ , en V
S_CW=cos(2*pi()*fCW*t)*G_CW_V; % Señal de onda continua en V
if b2==1
    figure(3)
    plot(t,S_CW)
    title('Interferencia de Onda Continua Recibida')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end
%%SEÑAL DE ENTRADA A LA ANTENA RECEPTORA DEL SISTEMA DE MLT DE TIERRA
if b2==1
    %No hacer nada
else
    S_CW=0;
end

if b3==1
    %No hacer nada
else
    S_DME=0;
end

S=S_DME+S_MLT+S_CW;

if b2==1 && b3==1 || b2==1 || b3==1
    figure(4)
    plot(t,S)
    title('Señal de Entrada al Receptor')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end

%%ESPECTRO FRECUENCIAS SEÑAL DE ENTRADA MLT
y1=abs(fftshift(fft(S)));
n=-fm/2:((fm/2)-(-fm/2))/(length(y1)-1):fm/2; % cambiar eje x en Hz
figure(5)
plot(n,y1)
title('Espectro de Frecuencias Entrada Receptor MLT')
xlabel('Frecuencia Hz')
ylabel('Densidad Espectral')
grid
```



## 6.5 Señales tras la multiplicación con la frecuencia del oscilador local

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%SEÑAL TRAS PASAR LA ANTENA, EL FILTRO PASO BANDA (7MHZ) Y EL
AMPLIFICADOR%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%RUIDO BLANCO GAUSIANO
BW=7e6; %Ancho de banda Filtro pasa banda después de la antena
PR=1.38e-23*BW*290*1000; %Pot Ruido=KBT tras multiplicar por 1000
estarán en mW
pr=10*log10(PR); % en dBm
Nivel_RUIDO=pr+3; %Ya que hay que añadir 3dB de la Figura de Ruido del
paso banda y el amplificador, NR en dBm
S_RUIDO=wgn(1,length(S_DME),Nivel_RUIDO,50,'dBm'); %en Voltios con
Zo=50 Ohmios
if b4==1
    figure(6)
    plot(t,S_RUIDO)
    title('Interferencia de Ruido Recibida')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Amplitud (V)')
    grid
end

%SUMA DE LA SEÑAL MAS EL RUIDO
if b4==1
    %No hacer nada
else
    S_RUIDO=0;
end
Se_ol=S+S_RUIDO;
figure(7)
plot(t,Se_ol)
title('Señal antes de multiplicarla por la frec oscilador local')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%OSCILADOR LOCAL%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%MULTIPLICACIÓN OSCILADOR LOCAL
Sef=Se_ol.*cos(2*pi()*fMLT*t-pi); %señal para demodular y quedarnos
con la FI=63MHz
figure(8)
plot(t,Sef)
title('Señal Multiplicada con la frec del Oscilador local')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%ESPECTRO FRECUENCIAS ENTRADA FILTRO
y2=abs(fftshift(fft(Sef)));
```



```
figure(9)
plot(n,y2)
title('Espectro de Frecuencias Señal Multiplicada con la frec del
Oscilador local')
xlabel('Frecuencia Hz')
ylabel('Densidad Espectral')
grid
```

### 6.6 Filtro paso bajo

```
%%%%%%%%%%%%%%
%%%FILTRO%%
%%%%%%%%%%%%%%

%F1 Returns a discrete-time filter object.
% M-File generated by MATLAB(R) 7.7 and the Signal Processing Toolbox
6.10.
% Generated on: 08-Jul-2009 22:55:41
% Chebyshev Type I Lowpass filter designed using FDESIGN.LOWPASS.
% All frequency values are in Hz.
Fs=fm; % Frecuencia de Muestreo
N=6; % Orden del Filtro
Fpass=11e6; % Passband Frequency
Apass=0.5; % Passband Ripple (dB)
% Construct an FDESIGN object and call its CHEBY1 method.
h1=fdesign.lowpass('N,Fp,Ap', N, Fpass, Apass, Fs);
Hd1=design(h1, 'cheby1');

%%%%%%%%%%%%%%
%%%Aplicación del Filtro%%
%%%%%%%%%%%%%%
s1=filter(Hd1,Sef); %Señal filtrada
figure(10)
plot(t,s1)
title('Salida filtro')
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Amplitud (V)')
grid

%%Espectro después de aplicar el filtro
y3=abs(fftshift(fft(s1)));
figure(11)
plot(n,y3)
title('Espectro de Frecuencias Salida del filtro')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Densidad Espectral')
axis([-12e6 12e6 0 7])
grid
```

### 6.7 Amplificador logarítmico

```
%%%%%%%%%%%%%%
%%%Amplificador Logarítmico%%
%%%%%%%%%%%%%%
ce_al=99550; %1/cero del amplificador logarítmico, me desplaza el eje
y hacia abajo al aumentar este valor y deja los pulsos en valores
positivos
```



```
s2=(1)*log10(ce_al*s1);  
pp=find(s2<0);  
s2(pp)=zeros(1,length(pp));  
figure(12)  
plot(t,s2)  
title('Salida Amplificador Logarítmico')  
xlabel('Frecuencia (Hz)')  
ylabel('Amplitud (V)')  
grid
```

